



VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra robototechniky

**Návrh čtyřkolového podvozku pro testování  
algoritmů řízení**

Design of Four Wheel Car Chassis Intended for Testing of  
Control Algorithms

Student:

Lukáš Hildebrand

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Milan Mihola, Ph.D.

Ostrava 2013

## Zadání bakalářské práce

Student: **Lukáš Hildebrand**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2301R013 Robotika  
Téma: **Návrh čtyřkolového podvozku pro testování algoritmů řízení**  
**Design of Four Wheel Car Chassis Intended for Testing of Control Algorithms**

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte analýzu současného stavu řešené problematiky.
2. Na základě této analýzy navrhnete možné varianty řešení a proveďte jejich srovnání.
3. Vybranou variantu detailně rozpracujte.
4. Práci doplňte podrobnou technickou a výpočtovou dokumentací. Výkresovou dokumentaci vypracujte dle pokynů vedoucího práce.
5. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu MS WORD a konstrukční řešení v CAD systému (dle pokynů vyučujícího).

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Kárník, L., Knoflíček, R., Marcinčin, J. N. *Mobilní roboty*. Opava: MÁRFY SLEZSKO, 2000. 210 s. ISBN 80-902746-2-5.
2. Schraft, R.F., Volz, H. *Serviceroboter*. Springer – Verlag, Berlin, 1996.
3. Kárník, L. *Robotizace v nestrojírenských oborech*. VŠB-TUO, Ostrava, 2000, 66 s. ISBN 80-7078-739-2.
4. ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.
5. ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Milan Mihola, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013



prof. Dr. Ing. Petr Novák  
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

#### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou práci, včetně uvedených příloh, vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě : 20.5.2013 .....

Hildebrand .....

Lukáš Hildebrand

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 20.5.2013

Hildebrand  
.....  
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Lukáš Hildebrand

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Příkazy 6, 783 33

## Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval Ing. Milanu Miholovi, Ph.D. za odbornou pomoc, vstřícný přístup a věcné připomínky při řešení této práce.

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

HILDEBRAND, L. *Návrh čtyřkolového podvozku pro testování algoritmů řízení : bakalářská práce*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robototechniky, 2013, 50 s. Vedoucí práce: Ing. Mihola, M., Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem čtyřkolového podvozku, který má sloužit pro testování algoritmů řízení. V úvodu jsou pro představu o konstrukci a pořizovací ceně obsaženy informace o servisních robotech využívající čtyřkolových podvozků. Dále jsou navrženy a konstrukčně zpracovány v systému Creo Parametric čtyři varianty podvozku a vybrána optimální varianta pomocí hodnotové analýzy. Ta je detailněji zpracována a podrobena kontrolním výpočtům. Následně jsou v práci popsány použité komponenty, které obsahuje podvozek a znázorněn 3D grafický model, doplněný o 2D výkresovou dokumentaci.

Klíčová slova: robot, rám, čtyřkolový podvozek, algoritmus řízení.

## ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

HILDEBRAND, L. *Design of Four Wheel Car Chassis Intended for Testing of Control Algorithms : bachelor thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics, 2013, 50 p. Thesis head: Ing. Mihola, M., Ph.D.

The bachelor thesis deals with structural design of four-wheel car chassis that is used for testing of control algorithms. In the introduction of the thesis is information about service robots, which use four-wheel car chassis, for better idea about construction and purchase price. Furthermore there are designed and constructed four variations of chassis in the Creo Parametric system. The optimal variation is chosen by using value analysis, which is elaborated in details and put to test by checking calculations. In the thesis are also depicted used components, included both chassis and 3D graphic model supplemented with 2D drawing.

Keywords: Robot, Frame, Four Wheel Car Chassis, Control Algorithm.

# Obsah

	strana
0 Seznam použitého značení a zkratek.....	9
1 Úvod.....	10
2 Průzkum servisních robotů se čtyřkolovým podvozkem.....	11
2.1 Dr. Robot Jaguar 4x4 Mobile platform.....	11
2.2 SuperDroid UM4.....	12
2.3 Inspectorbots Mega Bot Wireless 4WD Robot Platform (Kit).....	13
2.4 Inspectrobots Toughbot Surveillance and Inspection Robot.....	14
2.5 4x4 Mobila Platform w / Dlink Camera.....	15
3 Požadavkový list.....	16
4 Návrh variant podvozků.....	17
4.1 Navržená varianta č.1.....	18
4.2 Navržená varianta č.2.....	20
4.3 Navržená varianta č.3.....	22
4.4 Navržená varianta č.4.....	24
4.5 Závěr navržených variant.....	26
5 Hodnotová analýza.....	26
5.1 Jednotlivé stupně hodnot.....	27
5.2 Kritéria hodnocení.....	27
5.3 Určení významnosti kritérií.....	28
5.4 Závěr hodnotové analýzy.....	31
6 Vypracování optimální varianty – varianty č. 3.....	31
6.1 Popis konstrukční stavby rámu.....	32



6.2	Určení potřebných výkonů pohonných jednotek.....	33
6.3	Určení a kontrola typu pohonu dle požadované pojízdné rychlosti.....	37
6.4	Návrh zdroje energie.....	38
6.5	Použité komponenty z RC modelů.....	41
6.6	Uložení baterií, krytování podvozku a konstrukční úpravy.....	44
7	Závěr práce.....	46
8	Seznam použitých zdrojů.....	47
9	Přílohy.....	50

## 0. Seznam použitého značení a zkratek

značení	slovní popis	jednotky
CAD	Computer Aided Design – počítačem podpořený návrh	[-]
D	průměr pneumatiky	[mm]
$D_{KV}$	průměr pneumatiky	[mm]
$F_D$	brzdná síla	[N]
$G_R$	tíhová síla	[N]
$G_{RN}$	tíhová složka síly kolmá na podložku	[N]
$G_{RT}$	tíhová složka síly rovnoběžná s podložku	[N]
IR	Infra Red Sensor – infračervený senzor	[-]
$K_1$	kritérium nákladů	[-]
$K_2$	kritérium montáže	[-]
$K_3$	kritérium konstrukce	[-]
$K_4$	kritérium jízdních vlastností	[-]
$K_5$	kritérium spotřeby energie	[-]
$K_6$	kritérium ztrát	[-]
$K_7$	kritérium rozměrů	[-]
LCD	Liquid Crystal Display – displej z tekutých krystalů	[-]
$M_{KP}$	krouticí moment předního kola	[N.m]
$M_{KZ}$	krouticí moment zadního kola	[N.m]
$N_1$	normálová síla na přední kolo od podložky	[N]
$N_2$	normálová síla na zadní kolo od podložky	[N]
$N_3$	normálová síla na přední kolo od překážky	[N]
OCU	Operating Control Unit – operační řídicí jednotka	[-]
$R_{KP}$	reakce na přední kolo	[N]
$R_{KZ}$	reakce na zadní kolo	[N]
T	Třecí síla	[N]
$T_1$	třecí síla na přední kolo od podložky	[N]
$T_2$	třecí síla na zadní kolo od podložky	[N]
$T_3$	třecí síla na přední kolo od překážky	[N]
$T_{KP}$	třecí síla na přední kolo	[N]
$T_{KZ}$	třecí síla zadní kolo	[N]
a	vzdálenost těžiště od předního kola	[mm]
$a_R$	zrychlení podvozku	[m/s <sup>2</sup> ]
b	vzdálenost těžiště od zadního kola	[mm]
c	vzdálenost těžiště od podložky	[mm]
n	otáčky elektromotoru	[ot/min]
p	počet znalců hodnotové analýzy	[-]
q	váha významnosti	[-]
$s_R$	směr pohybu podvozku	[-]
v	rychlost pohybu podvozku	[m/s]
$v_R$	rychlost pohybu podvozku	[m/s]
$v_z$	zadaná rychlost pohybu podvozku	[m/s]
$\Phi$	úhel nakloněné roviny	[°]

Ostatní parametry a zkratky, které zde nejsou uvedeny a objeví se v bakalářské práci, jsou popsány včetně jednotek v kontextu.

## 1. Úvod

Cílem bakalářské práce je navrhnout podvozek, jenž bude sloužit pro testování algoritmů řízení a bude tak umožňováno vyhodnocování o správnosti, či nesprávnosti navrženého algoritmu. Vyhodnocování bude prováděno obslužnou osobou, jež podvozek naprogramuje, spustí a následně porovná, zda se výsledek shoduje s požadovaným cílem.

Podvozek je konstruován pro diferenční řízení, což znamená, že každé kolo je poháněno samostatným motorem a zatáčení robota je realizováno rozdílnými otáčkami na jednotlivých kolech. Tento způsob řízení umožňuje otáčení celého podvozku bez nutnosti natáčení kol. Výhodou tohoto řízení je schopnost otočení robota na místě, kterou může využívat ve stísněných prostorech. Zároveň je požadavkem navrhnout modifikovatelné odpružení kol, což znamená navržení konstrukce, která po drobné úpravě poskytne odpruženého, či neodpruženého podvozku. Pro daný účel testování algoritmů řízení však odpružení není vhodné, jelikož by mohlo nepříznivě ovlivňovat algoritmy a proto je nahrazen odpružený člen, členem tuhým, čímž dojde k zamezení odpružení. Důležitou vstupní podmínkou je také, zdolávání překážek, jako je nakloněná rovina a překážka typu kvádru, definované velikosti.

V praxi se používají servisní roboty poháněné stejným, nebo podobným způsobem. Čtyřkolový podvozek, 4WD podvozek, nebo 4x4 - to jsou nejčastější názvy těchto typů podvozků. Taktéž jsou charakteristické diferenčním řízením, kde je otáčení realizováno změnou otáček jednotlivých kol. Tyto servisní roboty mají jednu společnou nevýhodu, kterou je jejich vysoká pořizovací cena. Cílem této práce je vytvořit jednoduchý podvozek se zaměřením na minimalizaci pořizovacích nákladů. Z toho hlediska bylo nahlédnuto i do odvětví jiného průmyslu - zábavného. RC modely automobilů poskytovali taktéž inspiraci pro vytvoření konstrukce podvozku a dále přinášeli nesčetné množství náhradních dílů, kterých bylo využito při stavbě robota.

## 2. Průzkum servisních robotů se čtyřkolovým podvozkem

### 2.1. Dr. Robot Jaguar 4x4 Mobile platform



Obr. 2.1.  
Zdolávání terénu [1]



Obr. 2.2. Jaguar [1]



Obr. 2.3.  
Jaguar vs. Automobil [1]

Základní rozměry	Výška (mm)	Šířka (mm)	Délka (mm)	Světlá výška (mm)
	255	530	570	88
Hmotnost (kg)	19,5 (standardní konfigurace)			
Typ pohonu	Motor (24V) – 4ks, max. výkon 80W, jmenovitý proud 2.75A			
Napájení	Dobíjecí baterie LiPo, 22.2V, 10Ah			
Druh terénu	Vnitřní i venkovní provoz			
Rychlost (km.hod <sup>-1</sup> )	0 – 15			
Typ navigace	Autonomní navigace s GPS			
Cena	7 614.50 \$			

Tab.2.1 Základní parametry robotu Jaguar [1]

Dr. Robot Jaguar 4x4 Mobile platform je určen pro vnitřní i venkovní provoz, disponuje vyšší světlou výškou a rychlejší manévrovatelností. Tento model je poháněn čtyřmi silnými (80W) motory - jeden pro každé kolo. Rám se vyznačuje robustní konstrukcí, kdy si ale zachovává nízkou hmotnost (<20 kg). Jeho světlá výška dosahuje 88 mm a díky své konstrukci je kompaktní, odolný proti vnějším klimatickým podmínkám (například i dešti), je schopen překonávat náročné terény a zdolávat schody do výšky 110 milimetrů. Řízení je zkonstruováno pomocí bezdrátového (802.11g) připojení mezi ovládací jednotkou u manipulátora a přijímací jednotkou v těle robota. Modul je osazen integrovanou audio/video kamerou s vysokým rozlišením a laserovým čidlem, jenž dodává operátorovi detailní informace o okolí. [1]

Základní nevýhodou tohoto modelu je zdolávání překážek, kde musí být požadovaný podvozek schopen zdolávat překážky typu kvádr o výšce 150mm. Tento robot je schopen překonat výšku překážky o velikosti pouze 110mm, z čehož vyplývá, že by muselo dojít ke konstrukčním úpravám, aby podvozek vyhovoval. Další nevýhodou je vysoká pořizovací cena, která by při navrhované konstrukci mohla dosahovat razantně nižší hodnoty. Vhodná

ke zmínění je i hmotnost, která dosahuje bez mála 20 kilogramů, což by z pohledu přímé manipulace s robotem a instalace do terénu mohla být manipulátorovi na obtíž. [1]

## 2.2. SuperDroid UM4



Obr. 2.4.  
Ovládací stanice [2]



Obr. 2.5. Superdroid UM4 [3]



Obr. 2.6.  
Kamera [4]

Základní rozměry	Výška (mm)	Šířka (mm)	Délka (mm)	Světlá výška (mm)
	228	337	343	32
Hmotnost (kg)	6,4 (plně sestaveno)			
Typ pohonu	4 x IGP32P 24 VDC, 265 RPM převodový motor s encodérem			
Napájení	Dobíjecí baterie Li-Ion 22.2V, 3000mAh			
Druh terénu	Vnitřní i venkovní provoz			
Rychlost (km.hod <sup>-1</sup> )	0 – 6,5			
Typ navigace	Dálkově řízený vysílačem s přenosem obrazu k manipulátorovi			
Cena	3 836.50 \$			

Tab. 2.2. Základní parametry robotu SuperDroid [3]

Velmi kompaktní robot, vážící pouhých 6,4 kilogramů, celým názvem - SuperDroid UM4 Ultra Mobile Surveillance & Inspection Robot w / Spektrum Remote, je kompletně sestavený robotizovaný modul s audiovizuální podporou, řídicím systémem a napájením. K pohonu kol je využito čtyř převodových elektromotorů s encodéry s přesným označením IGP32P a jako zdroj energie zde slouží Li-Ion baterie s napětím o hodnotě 24 V. Systém je dodáván pro okamžitou aplikaci pro danou činnost, ať je to revizní procházení prostorů pod domy, v budovách apod., nebo poskytnutí informací z první linie obrany taktických situací. Vybavený infračervenou kamerou umožňuje mapování operačního prostředí i za minimální viditelnosti, nebo za naprosté tmy. Za normální viditelnosti poskytuje vysoce kvalitní barevný obraz. Ten má k dispozici manipulátor na operační stanici obsahující 7“ širokoúhlý LCD monitor. [3]

Nevýhodou tohoto typu robota je jeho světlá výška, která činí pouhých 32 mm. To se negativně odráží na průjezdnosti v členitějším terénu, jako je například překonávání

schodů, patníků, nebo suti. Při navrhování podvozku bude vycházeno z poměrně malých rozměrů tohoto robota, jež jsou pouze pozitivním přínosem. Díky jeho menším rozměrům umožňuje manipulaci ve stísněných prostorech a lepší manévrovatelnost. Další výhodou je poměrně nižší pořizovací cena. [3]

### 2.3. Inspectorbots Mega Bot Wireless 4WD Robot Platform (Kit)



Obr. 2.7.  
Vojenská nástavba [5]



Obr. 2.8. Mega Bot [6]



Obr. 2.9.  
Aplikace na sněhu [6]

Základní rozměry	Výška (mm)	Šířka(mm)	Délka (mm)	Světlá výška (mm)
	355	660	787	114
Hmotnost (kg)	80- 100			
Typ pohonu	4 x 1,7 High-Torque elektrické motory			
Napájení	Dobíjecí baterie 12,24 nebo 36V konfigurace			
Druh terénu	Vnitřní i venkovní provoz			
Rychlost (km.hod <sup>-1</sup> )	0 – 12			
Typ navigace	Dálkově řízený vysílačem s přenosem obrazu k manipulátorovi			
Cena	6 490,00 \$			

Tab. 2.3. Základní parametry robotu Inspectorbots Mega Bot [6]

Jedná se o Inspectorbots Mega Bot Wireless 4WD Robot Platform (Kit), což je velmi robustní (indoor / outdoor) dálkově ovládaná plošina, která může být vybavena kamerami, senzory a zařízeními pro monitoring, ale také nástavbami a doplňky z vojenského průmyslu pro bojové nasazení. MEGA Bot byl navržen jako modulární a přizpůsobitelný, díky čemuž je umožněno koncovému uživateli vyměňovat různé moduly nástavby a využít jednoho robota na více aplikací. [6]

Tato dostupná mobilní platforma je navržena tak, aby splnila nejružnější požadavky manipulátora. Má dostatečně silné motory a navrženou konstrukci tak, aby byla schopna nést člověka – konstrukce disponuje velkou robustností, nosností a vysokou tažnou silou, která dosahuje hodnoty až 900 kilogramů. I přes své velké rozměry a hmotnost si zachovává perfektní manipulovatelnost s nulovým poloměrem otáčením. Mega Bot je

ideální platformou pro skryté sledování, odstranění bombových hrozeb, inspekci, vědecké operace a taktické, nebo bezpečnostní aplikace. Je schopen překonávat nejrůznější překážky, jako je například stoupání o 30 stupních, nebo díky své vodotěsnosti i ty nejnevlídnější klimatické podmínky.[6]

Konstrukce tohoto Mega Bota je velmi propracovaná a i přes své výhody si zachovává poměrně přijatelnou cenu. Největším pozitivem u toho typu robota je možnost výměny různých modulů a tím se vyhnout nákupu několika drahých robotů. Důkazem o možnostech širšího využití je i přiložený obrázek 2.7. s využitím robota osazeného vojenskou nástavbou. [6]

#### 2.4. Inspectrobots Toughbot Surveillance and Inspection Robot



Obr. 2.10.  
Toughbot – zdroj světla [7]



Obr. 2.11. Toughbot [8]



Obr. 2.12.  
Toughbot – kamera [9]

Základní rozměry	Výška (mm)	Šířka (mm)	Délka (mm)	Světla výška (mm)
	120	355	355	38
Hmotnost (kg)	4			
Typ pohonu	4 x High -Torque elektrické motory			
Napájení	Dobíjecí baterie 12V			
Druh terénu	Vnitřní i venkovní provoz			
Rychlost (km.hod <sup>-1</sup> )	0 – 6			
Typ navigace	Dálkově řízený vysílačem s přenosem obrazu k manipulátorovi			
Cena	4 990,00 \$			

Tab. 2.4. Základní parametry robotu Inspectrobots Toughbot [8]

Inspectorbots Toughbot Surveillance and Inspection Robot je malý, lehký, cenově dostupný robot, určený pro sledování, průzkum a kontrolní činnost. Pohon je řešen čtyřmi silnými motory, kde na každé kolo připadá jeden elektromotor High – Torque. Robustní platforma je opatřena vodovzdornou konstrukcí, schopností otočit se na místě s nulovým poloměrem a infračervenou kamerou. Aplikační činnost je velmi rozmanitá. Jako nejčastější využití robota je prosazování práva, inženýrství a stavební dozor. Tento hbitý robot s nízkým profilem obsahuje OCU - operační řídicí jednotku, která obsahuje audio /



video přijímač, monitor, rádio regulátor a baterie v zakrytované části přenosného modulu. Aktuální video obraz, pořizovaný kamerou robota, lze buď využít k navigaci platformy, nebo k přenášení snímků o monitorované oblasti dále k posuzování a mapovat tak prostředí, ve kterém se nachází. Video může být také zaznamenáváno a dále využito pro rozbor situace. [8]

Pro požadované funkce mohou být kladným přínosem malé rozměry a nízká hmotnost této platformy. Naopak, kvůli jeho menším rozměrům není schopen zdolávání vysokých překážek kvádrového tvaru. Nevýhodou je také jeho poměrně vysoká pořizovací cena. Je schopný zdolávat sklony o 30 stupních a je odolný proti vniknutí vody k elektrickým součástkám. [8]

## 2.5. 4x4 Mobila Platform w / Dlink Camera



Obr. 2.13.  
Ovládací stanice [10]



Obr. 2.14. 4x4 Mobila platform [10]



Obr. 2.15  
W / Dlink camera [10]

Základní rozměry	Výška (mm)	Šířka (mm)	Délka (mm)	Světlá výška (mm)
	79	193	305	39
Hmotnost (kg)	Neuvedeno			
Typ pohonu	4 x RGI-GHM-01 převodové motory (12V, 30:1, 200rpm)			
Napájení	Dobíjecí baterie NiHM 12.0V , 11Ah			
Druh terénu	Vnitřní i venkovní provoz			
Rychlost (km.hod <sup>-1</sup> )	0 – 7			
Typ navigace	Dálkově řízený vysílačem s přenosem obrazu k manipulátorovi			
Cena	2 895,00 \$			

Tab. 2.5. Základní parametry robotu 4x4 Mobila Platform [10]

Robotics Group 4x4 Mobile platform w / Dlink Camera disponuje obvodovými rozměry 79 x 193 x 305 mm a je vyrobena z trvanlivých 2,5 milimetrů širokých desek hliníku. Čtyři RGI-GHM-01 převodové motory (12V 30:1 200rpm), s možností upgradu na větší a silnější RGI-GHM-12 (12VDC 30:1 235rpm), pohání každé kolo samostatně a



robot tak disponuje výbornou obratností a manipulovatelností. Pro rozšiřitelnost jednotky je dodávána s třemi 37 pin D (přední, horní a zadní střed) konektory, které se používají k připojení pro další senzory. Řídící jednotka je integrována uvnitř karoserie z důvodu ochrany proti vnějším vlivům a skládá se ze základny Delrin a rotující jednotky Hi-Tec HS-81MG mikro-servo. W / Dlink externí video kamera ve spolupráci s diodovými světly poskytují pro palubní správu kompletní záznamy o prostředí, ve kterém se robot nachází a umožňuje tak řízení na dálku bez nutnosti přímého očního kontaktu na robota. Dále obsahuje vestavěný IR a ultrazvukové skenování, které ještě detailněji poskytují informace o manipulačním prostředí. [10]

Tato platforma zaujme nejvíce svou nízkou cenou, kde za své peníze dostanete odpovídajícího průzkumného robota. Kvůli jeho malé světlé výšce může dojít k problému v překonávání některých překážek, jako jsou například překážky typu kvádr, hrubá suť a podobně. Výhodou je ale široká škála možností rozšíření doplňků, na které jsou v podvozku přichystány konektory.[10]

### 3. Požadavkový list

Rozměrové požadavky	
<b>Šířka</b>	<b>350 mm – 700 mm</b>
<b>Délka</b>	<b>350 mm – 700 mm</b>
<b>Výška</b>	<b>&lt; 450 mm</b>
<b>Světlá výška podvozku</b>	<b>&lt; 200 mm</b>
<b>Hmotnost rámu podvozku</b>	<b>&lt; 5 kg</b>
<b>Celková hmotnost</b>	<b>&lt; 10 kg</b>

*Tab. 3.1. Rozměrové požadavky*

Konstrukce, jízdní vlastnosti a ovládání	
<b>Pohon</b>	<b>Elektromotor s encodérem</b>
<b>Typ pohonu</b>	<b>4x4 - Samostatný motor pro každé kolo</b>

<b>Odpružení kol</b>	<b>Modifikovatelné</b>
<b>Natáčení kol</b>	<b>Ne</b>
<b>Výměna pneumatik</b>	<b>Ano – s minimálním namáháním hřídele</b>
<b>Specifikace provozu</b>	<b>Laboratorní podmínky</b>
<b>Specifikace povrchu</b>	<b>Hladký povrch (beton)</b>
<b>Způsob ovládání</b>	<b>Počítač a mikro kontrolér</b>
<b>Překonání překážky typu kvádr</b>	<b>V 150 mm x Š 250 mm</b>
<b>Nakloněná rovina</b>	<b>&lt; 35 °</b>
<b>Rychlost</b>	<b>Cca 2 – 3 km.hod<sup>-1</sup></b>

*Tab. 3.2. Konstrukce, jízdní vlastnosti a ovládání*

<b>Napájení a doplňující informace</b>	
<b>Druh napájení</b>	<b>Dobíjecí baterie</b>
<b>Napětí baterie</b>	<b>Do 12 V</b>
<b>Doba provozu</b>	<b>3 hod</b>
<b>Krytování elektroniky</b>	<b>Ano</b>
<b>Voděodolnost</b>	<b>Není podmínkou</b>
<b>Disky kol</b>	<b>Vyměnitelné</b>
<b>Osvětlení</b>	<b>Volitelné</b>
<b>Kamera</b>	<b>Volitelné</b>

*Tab. 3.3. Napájení a doplňující informace*

#### **4. Návrh variant podvozků**

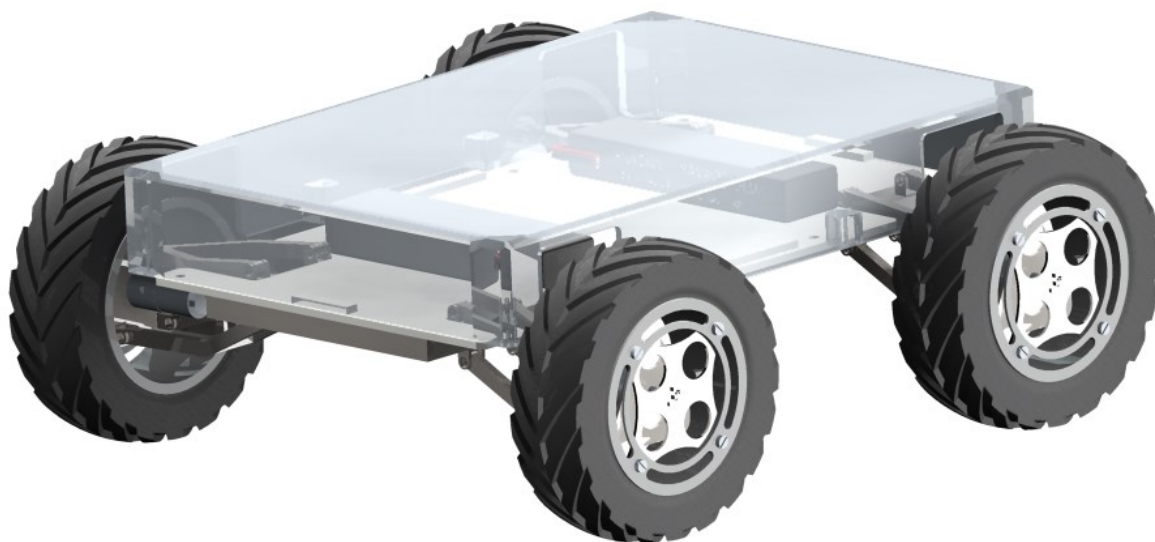
Při navrhování variant byly brány v úvahu parametry z požadavkového listu a konstrukční náležitosti z pohledu vyrobiteľnosti a požadované aplikace. Navržené varianty jsou předběžně vymodelovány v CAD systému CREO Parametric 1.0 a dále budou

podléhat hodnotové analýze pro určení optimální varianty. Varianty jsou vymodelovány bez spojovacích materiálů a elektrických součástí. Z toho vyplývá, že předběžný návrh je zaměřen především na konstrukci podvozku a další náležitosti budou vypracovány v rozboru optimální varianty.

#### 4.1. Navržená varianta č.1

Při konstruování této varianty bylo vycházeno z koncepce uložení kol umožňující modifikaci vůči odpružení. Je to zejména z pohledu širšího využití podvozku, nýbrž pro zadanou aplikaci není odpružení vhodné. Proto je pružný člen nahrazen členem tuhým, čímž dojde k fixaci kola v jedné poloze.

Samotný rám byl zhotoven z jednoduchých dutých profilů z oceli, díky které získá podvozek při poměrně malých rozměrech trubek dostatečnou tuhost. Jednotlivé díly se k sobě přivaří a vytvoří tak obdélníkový profil podvozku. Dále jsou na určená místa přivařeny úchyty pro čepy, které slouží pro upevnění ramen kol a odpružení.



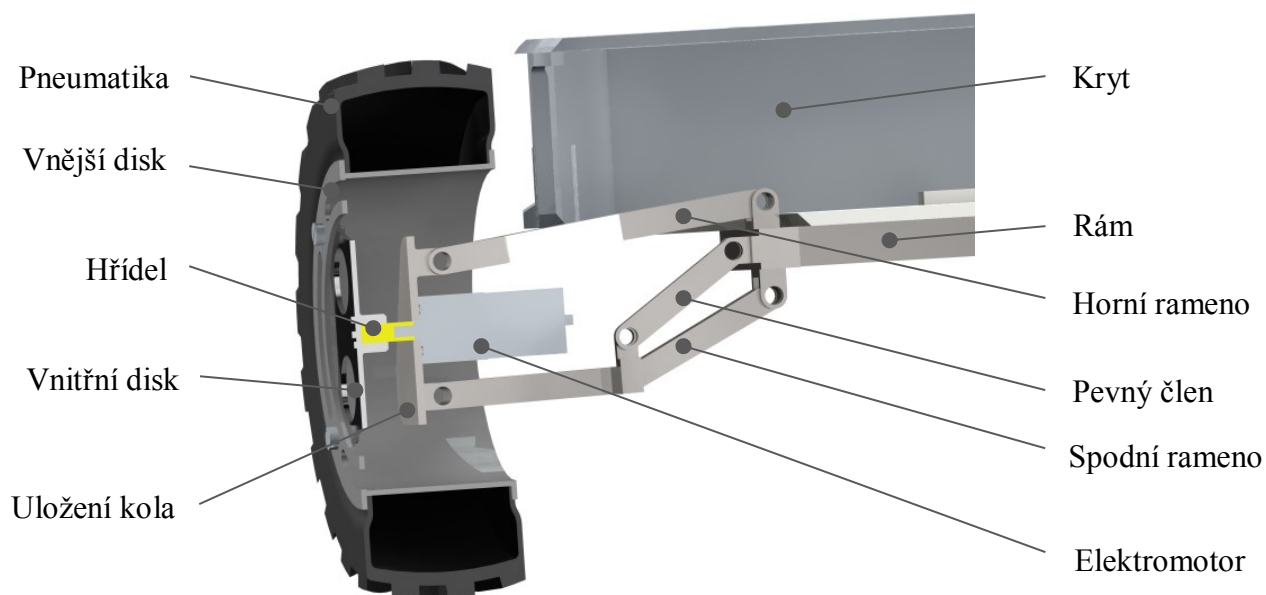
*Obr. 4.1. Varianta podvozku č.1 - a*



*Obr. 4.2. Varianta podvozku č.1 - b*

Většina pohyblivých spojů je konstruována pomocí čepů, které jsou jištěny proti axiálnímu posunutí pojistnými kroužky. Výjimkou není ani uložení samotné součásti, jež nese pohonnou jednotku. Součást je připevněna dvojicí ramen k rámu podvozku a přímo na ní je připevněn dvěma šrouby elektromotor, který má za úkol pohánět pouze jedno dané kolo. Následně je umístěna přímo na hřídel elektromotoru krátká hřídel, jenž slouží pro připojení vnitřního disku kola k motoru. Hřídele a disk jsou proti axiálnímu posunutí a pootočení jištěny stavěcími šrouby.

Samotná sestava kola je navržena tak, aby mohlo dojít k výměně pláště bez nutnosti demontáže disku a tím k silovému namáhání přípojné osy. To je ošetřeno děleným diskem, složeným z vnitřní a vnější části, jež jsou k sobě připojeny čtyřmi šrouby. Na vnějším disku je umístěna pneumatika a vnitřní disk je spojen s elektromotorem. Při výměně je tedy demontován celý vnější disk i s pneumatikou, uvolněním zmíněných čtyř šroubů.



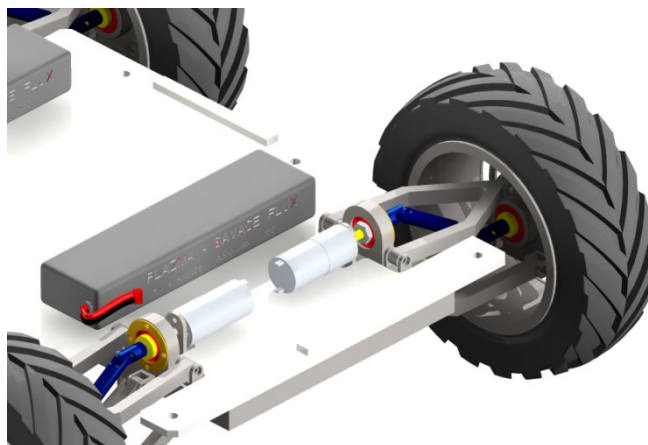
*Obr. 4.3. Uložení elektromotoru akola v řezu varianty č. 1*

#### **4.2. Navržená varianta č. 2**

Konstrukce rámu je obdobná, jako v předchozí variantě s tím rozdílem, že přibyly dvě vzpěry pro možnost rozdílného umístění elektromotoru mimo prostor kola a ložiskové domky pro uložení hřídelů. Tím přibylo na pevnosti rámu a bylo umožněno umístit motor do krytované oblasti rámu.



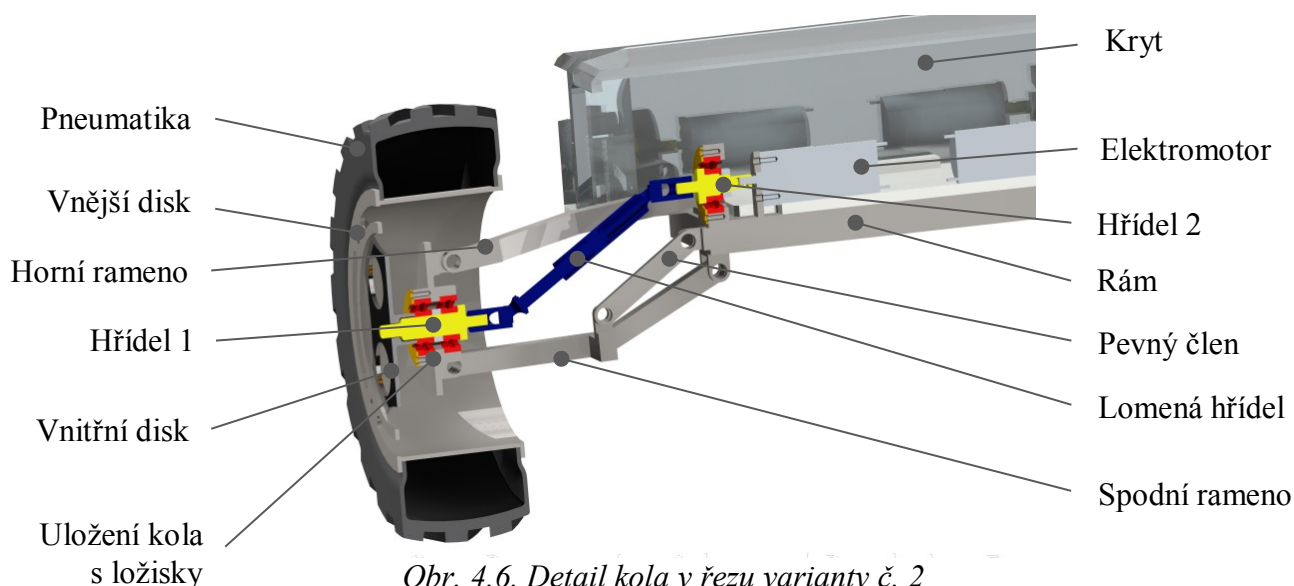
*Obr. 4.4. Varianta podvozku č. 2*



Obr. 4.5. Varianta podvozku č. 2 - uložení motorů

Umístění motoru přímo na rám způsobil i další změny v konstrukci, jako je nutnost použití zalomené hřídele (kardanové hřídele), která je schopna převádět krouticí momenty dvou hřídelů osově mimoběžných. Samotný disk kola je tedy nyní uchycen na hřídeli, jež je fixována dvojicí kuličkových ložisek v uložení kola. Ložiska jsou připevněny skrze pojistné kroužky, dále distančního kroužku, přitlačné desky a šroubů (viz obr. 4.6.). Na rámu je navíc přivařen ložiskový domek pro uložení hřídele umožňující spojení elektromotoru a druhého konce zalomené hřídele a přivařená konzole pro uchycení samotného elektromotoru. Tento typ uložení kola a způsob pohonu přes lomenou hřídel je lepší z hlediska namáhání elektromotoru a jeho možnosti krytování vůči vnějším vlivům. Oproti variantě č. 1 je tato varianta z konstrukčního hlediska složitější a nákladnější a dochází ke ztrátám krouticího momentu v ložiskách a lomených hřídelích.

Sestava kola z větší části zůstala stejná jako u varianty předchozí. Rozdíl je v konstrukci vnitřního disku, kde v této variantě slouží disk i jako přitlačná součást vnitřního kroužku ložiska vedoucího hřídel kola.



Obr. 4.6. Detail kola v řezu varianty č. 2

### 4.3. Navržená varianta č. 3

Koncept toho podvozku je inspirována dostupnými RC modely aut, určených do členitých terénů. Současně s tím se nese myšlenka použití náhradních komponent dodávaných pro RC modely a využít je za účelem snížení počátečních nákladů na minimální hodnotu. Mnoho druhů RC modelů s sebou přináší na trh nesčetné množství náhradních dílů

Počáteční myšlenkou v konstrukci rámu bylo, použití dodávaných hliníkových profilů, které jsou k sobě spojeny šrouby, jelikož je svařování hliníkové slitiny vcelku nákladné a také dochází k tepelnému ovlivňování materiálů, vyjma skutečnosti, že by některé malé profily nebylo možné ani svařovat. Celý podvozek je také menších rozměrů oproti prvním dvěma variantám z důvodu zakomponování menších pneumatik a silnějších motorů, s jejíž kombinací dokáží požadovanou překážku kvádového typu překonat. Tudíž není nutné velkých obvodových rozměrů, pouze vyšší světlé výšky rámu.



*Obr. 4.7. Varianta podvozku č. 3*

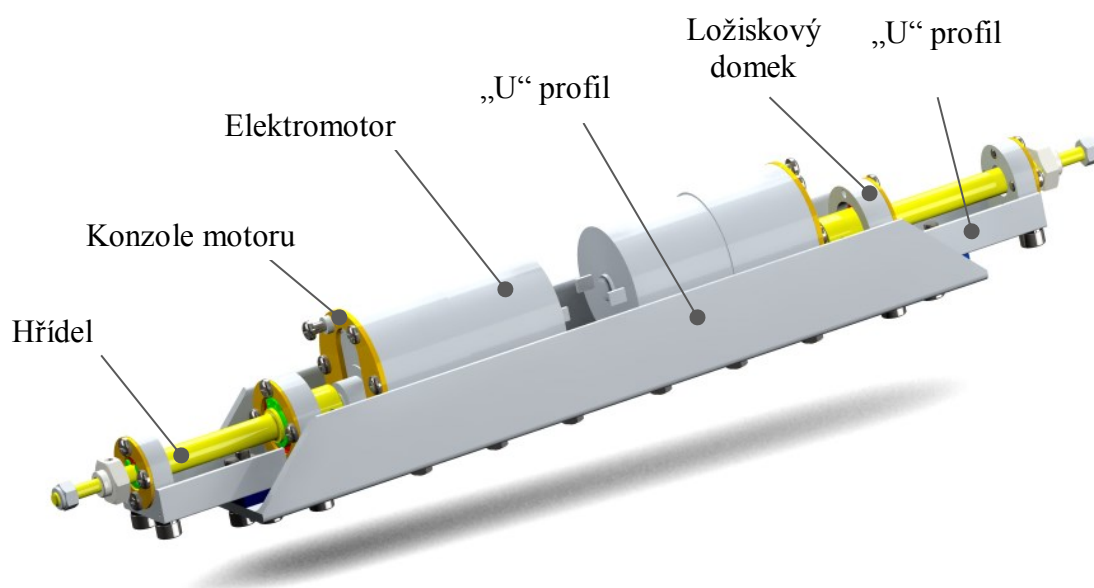
Další ideou bylo, umístit motory co nejbližší kolům a tím odstranit případné ztráty v převodech, lomených hřídelích, ložiskách apod. Z toho vychází možnost uložení motorů na hliníkový profil tvaru „U“, k němuž jsou připevněna pomocí dodávaných konzol a slouží tak, jako náprava. Krouticí moment je přenášen na disk kola pomocí krátké hřídele, jenž je uložena v tvarově jednoduchých ložiskových domcích.

Na výše viditelném obrázku 4.7. je znázorněn model, na němž je zřejmé přichycení samotné nápravy k rámu podvozku. Tato varianta pomocí dvojicí ramen, spojených příčnou vzpěrou do tvaru „H“ umožňuje odpružení, kdy se celá náprava pohybuje v horizontální poloze. To znamená, že pravé a levé kolo podvozku se zvedá o stejný úhel

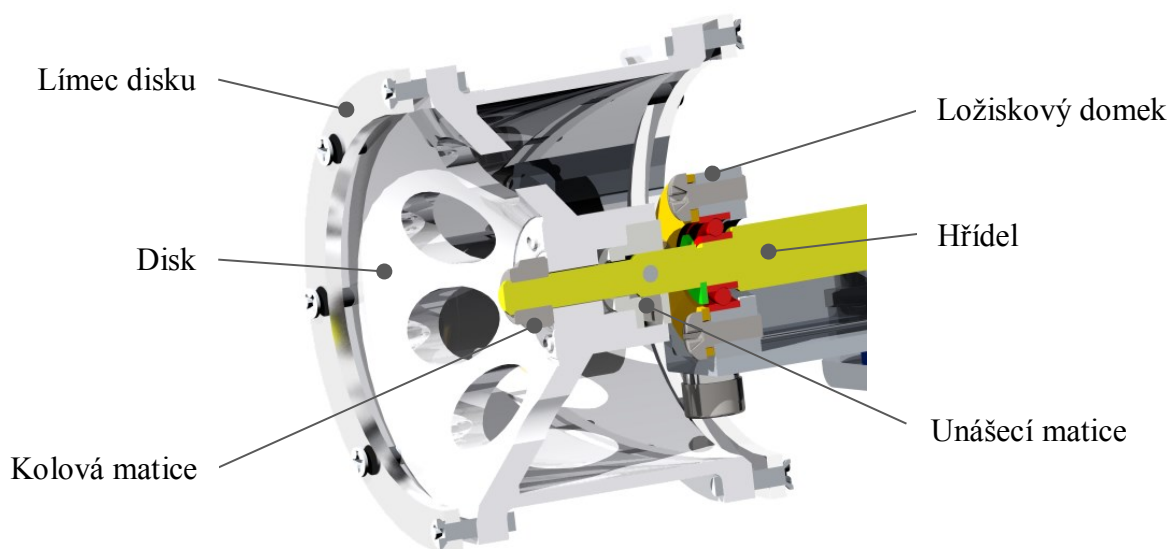


za každé situace, což je nevýhodou v členitějším terénu. Tlumič, jenž umožňuje samotné odpružení, je uchycen na speciálním rameni základny přímo tomu určenému a druhý konec je připevněn na konzole motoru. Modifikace odpružení se zde provede jednoduchou výměnou tlumiče za pevný člen z hliníkové slitiny.

Umístění baterií pro pohon elektromotorů tohoto konceptu je směřováno na základnu podvozku, kde se nachází volný prostor, právě pro baterie a následně ovládací elektroniku. Ta není na modelu zobrazena, nicméně je na ni uvolněn prostor uprostřed základny včetně plochy pro samostatnou baterii pro její napájení.



*Obr. 4.8. Pohled na celou nápravu, uložení pohonných jednotek a hřídelí*



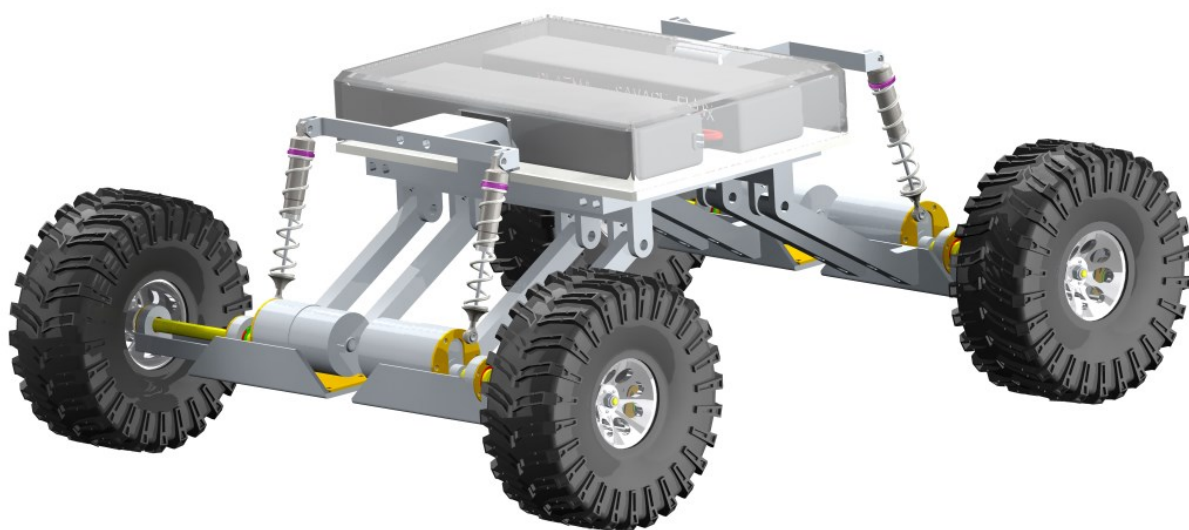
*Obr. 4.9. Detail uchycení disku kola na hřídeli a ložiskového domku*



Přípevnění disku na hřídel je převzato z uchycení kol RC modelů. Je tomu tak hlavně z důvodu použití disků a pneumatik určených pro zmíněné RC modely, jenž mají uzpůsobené disky na uchycení tzv. unášecích matic (viz. obr. 4.9.), které mají za úkol odstranit možné protáčení kol na hřídeli a tím tak zabránit ztrátám krouticího momentu. Unášecí matice je vyrobena za účelem přesného umístění do šesti hraného otvoru disku, čímž při dokončení montáže vytvoří dokonale podmínky pro přenos otáčivého pohybu. Samotná matice je uchycena na hřídeli proti pootočení prostřednictvím čepu, jenž prochází maticí kolmo na její osu. Pro pohodlnější montáž je matice pojištěna stavěcím šroubem, což zajistí její pevné uchycení na hřídeli. Jak je dále vidno z obrázku č. 4.11., ložisko je na hřídeli uchyceno pomocí pojistných kroužků (větší ložisko – blíže u motoru) a pomocí třmenových kroužků (menší ložisko – blíže kolu). V domcích jsou ložiska pojištěna prostřednictvím přitlačných desek ložiskových domků. Samotný disk kola je přichycen k hřídeli kolovými samojistícími maticemi.

#### 4.4. Navržená varianta č. 4

V pořadí čtvrtá varianta podvozku vychází přímo z předchozí navržené varianty se zásadní úpravou nápravy a jejím přichycením k rámu. Nicméně mnoho komponent, způsob jejich rozmístění a uložení je od ní převzat. Cílem této úpravy bylo dosáhnout větší flexibility podvozku a charakteristického odpružení, jenž by umožňoval naklápění pro každé kolo nezávisle na párovém kolu nápravy. Toho bylo dosaženo zkonstruováním dělené nápravy, jinými slovy polonápravy, pro každé kolo zvlášť. Tu poté uchytit prostřednictvím dvojicí ramen k rámu podvozku.

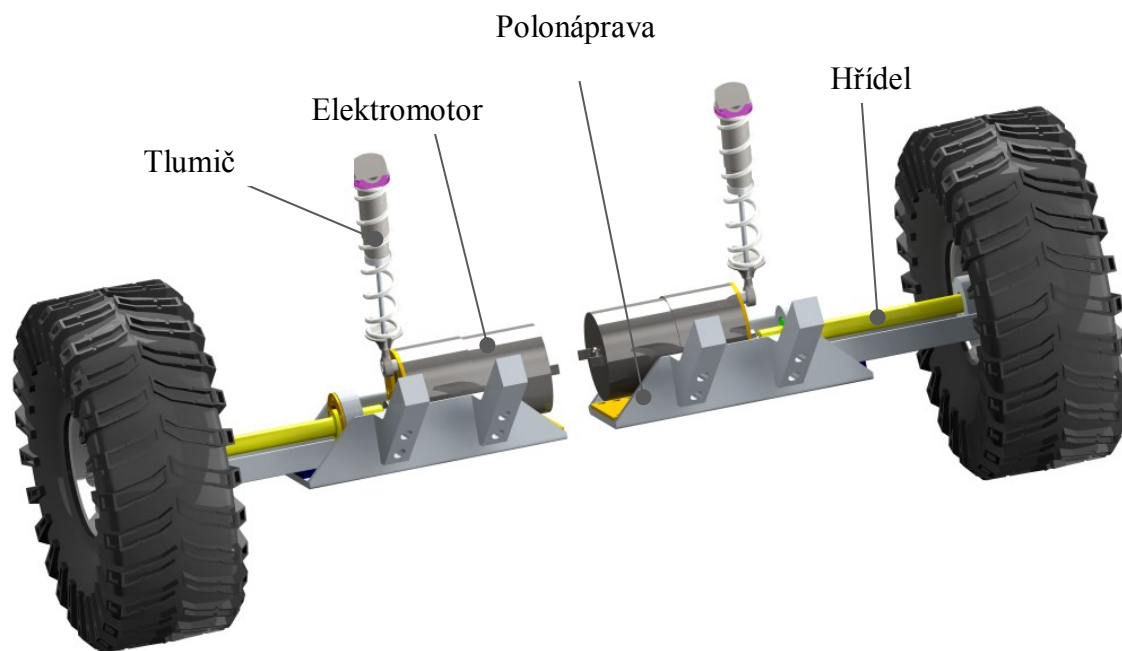


Obr. 4.10. Navržená varianta č. 4

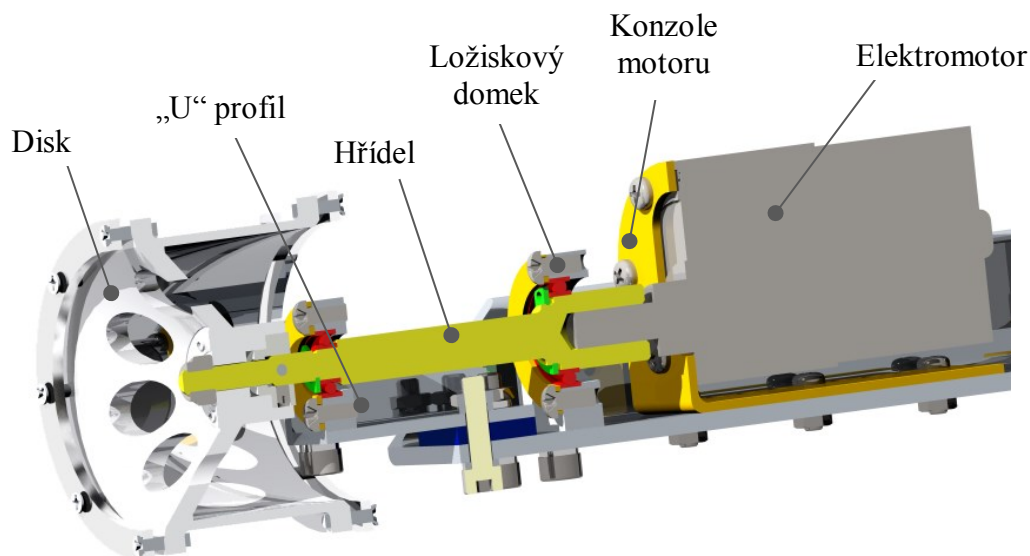
Jak již bylo naznačeno, hliníkový „U“ profil, který plnil službu nápravy pro uchycení motorů a hřídelí byl rozdělen na dvě samostatné polonápravy. Uložení motorů, hřídele a přichycení kol zůstalo totožné s předchozí variantou, stejně tak jako způsob odpružení, uchycení pružin a jejich případné modifikace na neodpružený model, jenž je pro úkol testování řídicích algoritmů vhodnější.

Konstrukce rámu je pozměněna pro uchycení ramen umožňujících kyvný pohyb polonáprav. Pro jednu polonápravu je nyní použito dvojici ramen, což dohromady dává osm kyvných ramen. Tím se nepříznivě zvyšuje hmotnost podvozku a pořizovací cena. Naopak, umožňuje flexibilnější odpružení, což je vhodné do členitějšího prostředí. Celá konstrukce je opět tvořena dílčími částmi z hliníkové slitiny, které jsou k sobě připevněny šrouby.

Použité komponenty, jako jsou motory, tlumiče, disky, pneumatiky, hřídele a podobně, jsou totožné s komponenty předchozí varianty (viz. obr. 4.11.). Řez polonápravou i s použitým spojovacím materiálem je na následujícím obrázku 4.12. Baterie a řídicí elektronika zůstaly umístěny na stejném místě, jako to bylo u varianty č. 3, tudíž na základně rámu. Elektronika není opět na modelu vyobrazena.



*Obr. 4.11. Znázornění nezávislých polonáprav*



*Obr. 4.12. Znázornění polonápravy v řezu*

#### **4.5. Závěr navržených variant**

Navržené varianty mají konstrukční nedokonalosti, které by vyplývaly na povrch při přesnějším rozboru a vypracovávání varianty. U optimální varianty jsou tyto drobné konstrukční úpravy řešeny v kapitole 6. Nejvíce určující podmínkou při konstruování byla minimalizace počátečních nákladů. Z toho důvody byly použity dostupné, sériově vyráběné profily pro stavbu rámu a dále náhradní díly určené pro RC modely. Varianty byly konstruovány účelně, pro zadanou aplikaci, které vyhovují. Hodnotová analýza, která bude zpracována v následující kapitole, bude určující pro selekci optimální varianty.

### **5. Hodnotová analýza**

Hodnotová analýza se skládá ze sedmi porovnávacích kritérií, kterým je přiřazena hodnota a následně významnost kritéria dle tří pozorovatelů. Výsledkem je jediné číslo u každé navržené varianty a koncept s nejvyšší hodnotou tohoto výsledku je označen za optimální navrženou variantu.

### 5.1. Jednotlivé stupně hodnot

Úroveň	Hodnota
Vysoká	10
Dobrá	8
Průměrná	6
Nízká	4
Nevyhovující	2
Nepříznivý stav	0

Tab. 5.1. Hodnotové stupně

### 5.2. Kritéria hodnocení

Označení kritéria	Kritérium	Charakteristika kritéria	Varianty			
			1	2	3	4
K1	Náklady	Veškeré pořizovací náklady	6	4	10	8
K2	Montáž	Složitost montáže	10	8	8	8
K3	Konstrukce	Tuhost a pevnost v poměru k složitosti konstrukce	6	8	10	8
K4	Jízdní vlastnosti	Plynulost jízdy a schopnost překonávání překážek	6	8	8	10
K5	Spotřeba energie	Energetický příkon robota	8	6	8	8
K6	Ztráty	Ztráty krouticího momentu elektromotoru	2	6	10	10
K7	Rozměry	Obvodové rozměry a hmotnost robota	8	8	8	8
Celkový počet bodů			46	48	62	60

Tab. 5.2. Jednotlivé kritéria

### 5.3. Určení významnosti kritérií

Metoda porovnávání v trojúhelníku párů (Významnější kritérium je zvýrazněno tučně)

Porovnání zpracované pozorovatelem č.1:

Porovnávané páry kritérií						Počet voleb (v)	Pořadí
K1	K1	K1	K1	K1	K1	5	1.
K2	K3	K4	K5	K6	K7		
	K2	K2	K2	K2	K2	1	6.
	K3	K4	K5	K6	K7		
		K3	K3	K3	K3	4,5	2.-3.
		K4	K5	K6	K7		
			K4	K4	K4	4,5	2.-3.
			K5	K6	K7		
				K5	K5	0,5	7.
				K6	K7		
					K6	2,5	5.
			K7	3	4.		
		Celkem					21
Vypracoval:					Hildebrand Lukáš		

*Tab. 5.3. Metoda porovnání v trojúhelníku párů – Hildebrand*

Porovnání zpracované pozorovatelem č.2:

Porovnávané páry kritérií						Počet voleb (v)	Pořadí
K1	K1	K1	K1	K1	K1	5	1.
K2	K3	K4	K5	K6	K7		
	K2	K2	K2	K2	K2	3,5	3.-5.
	K3	K4	K5	K6	K7		
		K3	K3	K3	K3	3,5	3.-5.
		K4	K5	K6	K7		
			K4	K4	K4	0,5	6.-7.
			K5	K6	K7		
				K5	K5	3,5	3.-5.
				K6	K7		
				K6	0,5	6.-7.	
				K7	4,5	2.	
		Celkem					21
Vypracoval:					Heider Pavel		

*Tab. 5.4. Metoda porovnání v trojúhelníku párů – Heider*

Porovnání zpracované pozorovatelem č.3:

Porovnávané páry kritérií						Počet voleb (v)	Pořadí
K1	K1	K1	K1	K1	K1	6	1.
K2	K3	K4	K5	K6	K7		
	K2	K2	K2	K2	K2	4	3.
	K3	K4	K5	K6	K7		
		K3	K3	K3	K3	3	4.
		K4	K5	K6	K7		
			K4	K4	K4	5	2.
			K5	K6	K7		
				K5	K5	1,5	5.
				K6	K7		
				K6	0,5	7.	
				K7	1	6.	
	Celkem					21	
Vypracoval:					Herold Daniel		

Tab. 5.5. Metoda porovnání v trojúhelníku párů – Herold

Výpočet průměrné váhy významnosti:

Kritérium	Váha významnosti q
K1	16/3
K2	8,5/3
K3	11/3
K4	10/3
K5	5,5/3
K6	3,5/3
K7	8,5/3
Celkem	21

Tab. 5.6. Průměrné váhy významnosti

Příklad výpočtu významnosti:

$$q = \frac{\sum (v1)i}{p} = \frac{5 + 5 + 6}{3} = 16/3$$

Kde: (v1)i – součet počtů voleb K1

jednotlivými znalci

p – počet znalců

Varianta 1			
Kritérium	Hodnota	Váha významnosti Bj	Vážený index kritéria
K1	6	16/3	32
K2	10	8,5/3	85/3
K3	6	11/3	22
K4	6	10/3	20
K5	8	5,5/3	44/3
K6	2	3,5/3	7/3
K7	8	8,5/3	68/3
Celkový součet indexů:			142

Tab. 5.7. Výsledek hodnotové analýzy – varianta 1

Varianta 2			
Kritérium	Hodnota	Váha významnosti Bj	Vážený index kritéria
K1	4	16/3	64/3
K2	8	8,5/3	68/3
K3	8	11/3	88/3
K4	8	10/3	80/3
K5	6	5,5/3	11
K6	6	3,5/3	7
K7	8	8,5/3	68/3
<b>Celkový součet indexů:</b>			<b>140,667</b>

Tab. 5.8. Výsledek hodnotové analýzy – varianta 2

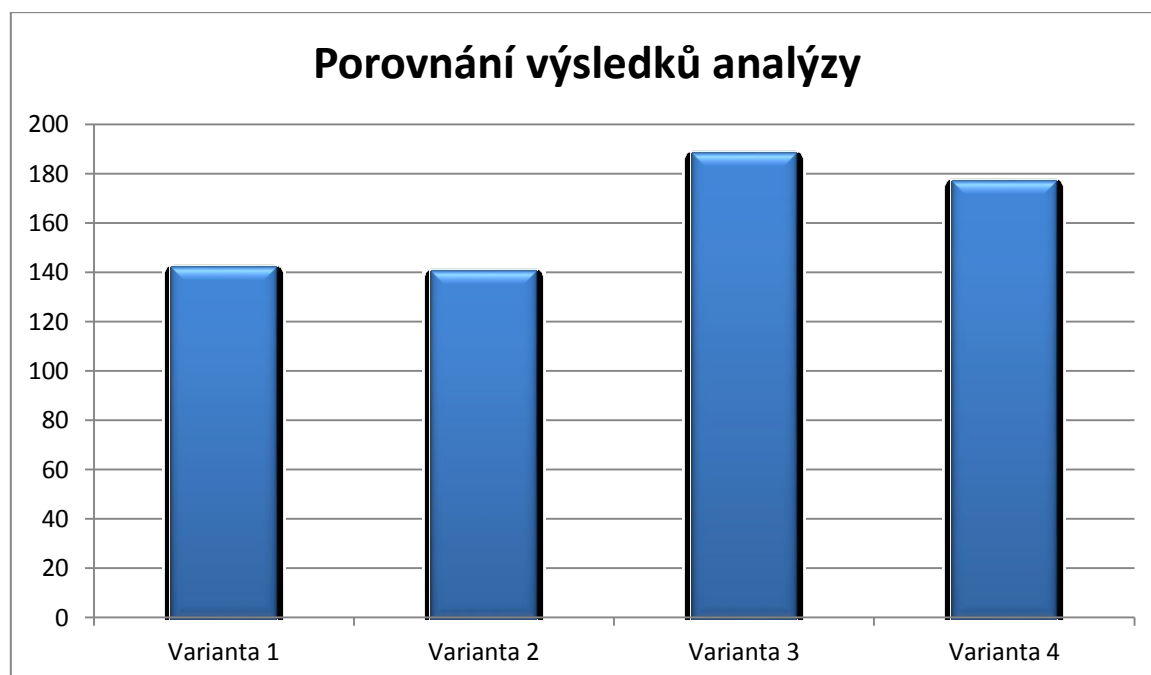
Varianta 3			
Kritérium	Hodnota	Váha významnosti Bj	Vážený index kritéria
K1	10	16/3	160/3
K2	8	8,5/3	68/3
K3	10	11/3	110/3
K4	8	10/3	80/3
K5	8	5,5/3	44/3
K6	10	3,5/3	35/3
K7	8	8,5/3	68/3
<b>Celkový součet indexů:</b>			<b>188,334</b>

Tab. 5.9. Výsledek hodnotové analýzy – varianta 3

Varianta 4			
Kritérium	Hodnota	Váha významnosti Bj	Vážený index kritéria
K1	8	16/3	128/3
K2	8	8,5/3	68/3
K3	8	11/3	88/3
K4	10	10/3	100/3
K5	8	5,5/3	44/3
K6	10	3,5/3	35/3
K7	8	8,5/3	68/3
<b>Celkový součet indexů:</b>			<b>177</b>

Tab. 5.10. Výsledek hodnotové analýzy – varianta 4

#### 5.4. Závěr hodnotové analýzy



*Obr. 5.1. Graf výsledků hodnotové analýzy*

Ze sestrojeného grafu z výsledků hodnotové analýzy lze vyvodit závěr, který je jednoznačný již při prvním pohledu. Varianta 3 je nejvýhodnější dle stanovených kritérií a jejich významností. Díky této hodnotové analýze může být pokračováno ve vývoji na této koncepci, popsáno použitých komponentů, popřípadě upravována konstrukce pro efektivnější provoz.

#### 6. Vypracování optimální varianty – varianty č. 3

V této kapitole je obsaženo detailnější zpracovávání této koncepce, konstrukční úpravy a kontrola důležitých komponent podvozku, jako je například potřebný výkon pohonných jednotek a pojezdové rychlosti. V úvodu je připomenuta konstrukce v podobě vyobrazení 3D modelu (obr. 6.1.), poté následuje výpočtová část a dále je pokračováno popisem použitých komponent. V závěru této kapitoly je vyobrazený výsledný 3D model se všemi komponenty, krytováním a spojovacím materiálem.





*Obr. 6.1. Varianta podvozku č. 3*

### **6.1. Popis konstrukční stavby rámu**

U celého rámu je použito zdroje jediného výrobce – Alupa s.r.o. [18], vyrábějícího profily z hliníkové slitiny, jejímž prostřednictvím je dosaženo lehkého a poměrně pevného rámu. Slitina hliníku je obtížně svařitelná normálními metodami svařování a použitím speciálních metod by byla nepříznivě poznačena výsledná cena podvozku, jelikož jsou tyto metody poměrně nákladné. Druhé nepříznivé kritérium by bylo z hlediska tepelného ovlivnění jednotlivých částí, které jsou v některých místech docela úzké a mohlo by dojít k jejímu ohnutí, případně zkroucení. Proto bylo přihlédnuto k variantě, která základní dostupné profily, ať už je to čtvercový, obdélníkový, či profil „U“, využívá způsobem, kdy je rám sestaven z jednotlivých kusů a ty jsou postupně spojovány pomocí šroubů v jeden celek. Tím jsou odstraněny předchozí negativní vlivy svařování a je vytvořena konstrukce, která je požadována. Pohyblivé části – ramena, jsou připevněny pomocí čepů, které jsou lícovány a dovolují tím naklápění ramene.

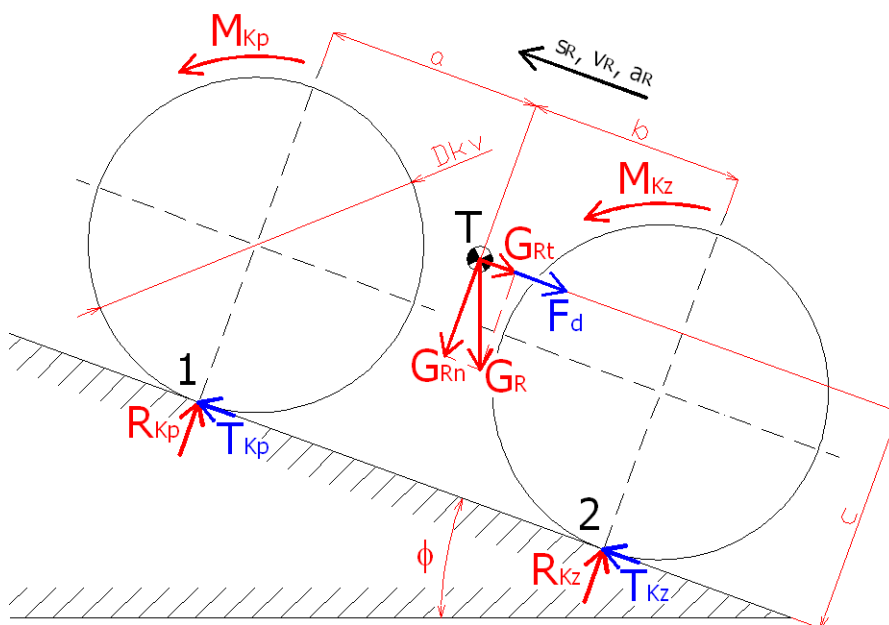
Elektromotory jsou na základní hliníkový profil tvaru „U“ připevněny pomocí dodávané konzole, která je součástí balíčku elektromotoru. Ta je přichycena šrouby o velikosti závitu M3. Hřídel, jenž převádí krouticí moment na disk kola je uložena v ložiskových domcích, prostřednictvím pojistných kroužků a třmenových kroužků a samotné ložiskové domky jsou šrouby o závitu M4 přichyceny na „U“ profily. Hřídel má na jednom konci dutý otvor pro hřídel elektromotoru. Vsunutá hřídel elektromotoru do dutiny poháněcí hřídele se pojistí proti vzájemnému pootočení stavěcím šroubem umístěným kolmo na osu rotace hřídele a tím umožní přenos krouticího momentu z hřídele elektromotoru na poháněcí hřídel. Hřídel elektromotoru má na sobě vyfrézovanou rovinnou plochu, o kterou se dotáhne zmíněný stavěcí šroub a spojení tím získá na tuhosti.

Přípevnění disku na hřídel je převzato z uchycení kol RC modelů. Je tomu tak hlavně z důvodu použití disků a pneumatik určených pro zmíněné RC modely, jenž mají uzpůsobené disky na uchycení tzv. unášecích matic (viz. obr. 6.8.), které mají za úkol odstranit možné protáčení kol na hřídeli a tím tak zabránit ztrátám krouticího momentu. Unášecí matice je vyrobena za účelem přesného umístění do šesti hraného otvoru disku, čímž při dokončení montáže vytvoří dokonale podmínky pro přenos otáčivého pohybu. Samotná matice je uchycena na hřídeli proti pootočení prostřednictvím čepu, jenž prochází maticí kolmo na její osu. Pro pohodlnější montáž je matice pojištěna stavěcím šroubem, což zajistí její pevné uchycení na hřídeli.

## 6.2. Určení potřebných výkonů pohonných jednotek

K výpočtu potřebných výkonů pohonných jednotek je použito výpočtových programů navržených Ing. Milanem Miholou, Ph.D., jež tuto problematiku řešil ve svých publikacích. Výpočty jsou obdobné s těmi, jež jsou potřeba řešit u tohoto návrhu podvozku, s drobnými rozdíly, které jsou popsány u jednotlivých druhů překážek. Těmito překážkami jsou v první řadě nakloněná rovina o zadaném úhlu  $35^\circ$  a následně překážka typu kvádr o výšce 150 mm a šířce 250 mm. Pro každou překážku je vytvořen zvlášť výpočtový program v softwaru Microsoft Excel, kde se zadávají vstupní parametry do předem označených polí a pomocí vzorců téměř okamžitě dochází k výpočtům výsledných hodnot, které jsou barevně vyznačeny.

Jako první je uveden výpočet pohonných jednotek při jízdě po nakloněné rovině. Hodnota nakloněné roviny, jak již bylo zmíněno, dosahuje maximální hodnoty  $35^\circ$ . Na následujícím obrázku 6.2. je znázorněno silové rozložení tíhy a další základní parametry, jako jsou krouticí moment předního kola ( $M_{KP}$ ), krouticí moment zadního kola ( $M_{KZ}$ ), reakci na pneumatiky, třecí síly a další hodnoty vstupující do výpočtů. Zobrazená tabulka obsahuje pouze vybrané výsledky, zbytek tabulky je obsažen v přílohách.



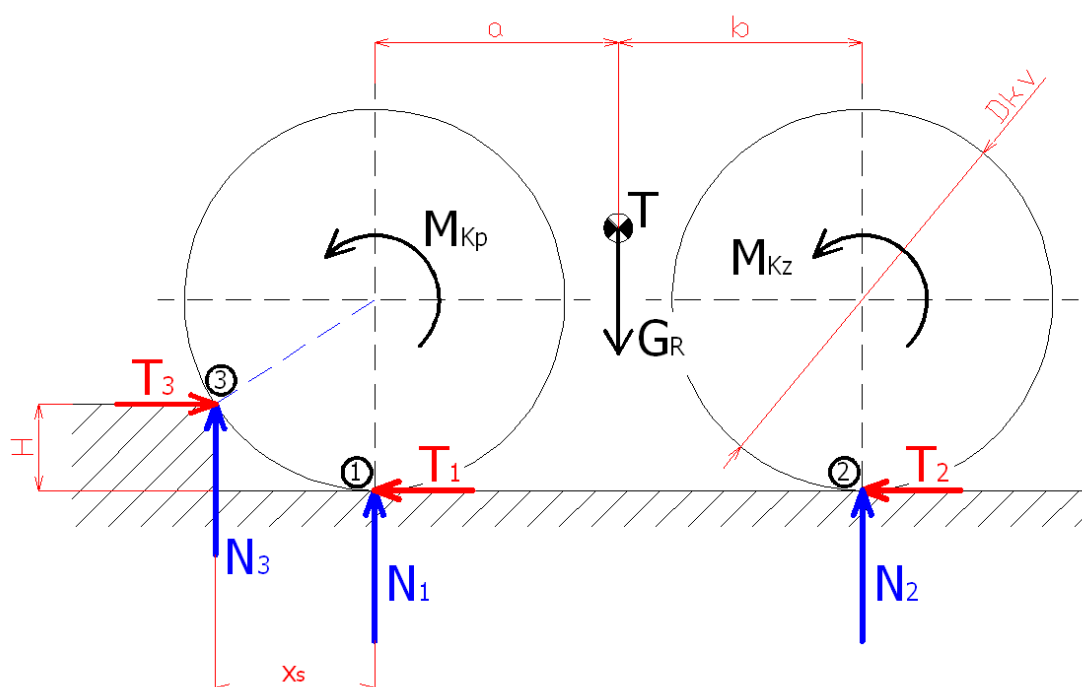
Obr. 6.2. Určení potřebných výkonů pohonných jednotek – nakloněná rovina[11]

Výsledný tabulka výpočtového programu je tvořena následujícími hodnotami:

Maximální velikost krouticího momentu, který je možné přenést z pohonné jednotky na přední kolo robotu, aniž by došlo k prokluzu kola (při uvažování koeficientu bezpečnosti prokluzu předního kola $k_{fp}$ )	$M_{kpmax}$	0.22537	[ N×m ]
Maximální velikost krouticího momentu, který je možné přenést z pohonné jednotky na zadní kolo robotu, aniž by došlo k prokluzu kola (při uvažování koeficientu bezpečnosti prokluzu zadního kola $k_{fz}$ )	$M_{kzmax}$	0.93836	[ N×m ]
Krouticí moment působící proti směru pohybu robotu, vznikající vlivem valivého odporu předního kola robotu	$M_{kvop}$	0.00823	[ N×m ]
Krouticí moment působící proti směru pohybu robotu, vznikající vlivem valivého odporu zadního kola robotu	$M_{kvov}$	0.03426	[ N×m ]
Požadovaný krouticí moment potřebný pro pohyb robotu po nájezdové rampě s požadovaným zrychlením $a_R$ a při zanedbání valivých odporů kol robotu	$M_{kpoz}$	2.19819	[ N×m ]
Požadovaný krouticí moment potřebný pro pohyb robotu po nájezdové rampě s požadovaným zrychlením $a_R$ a při započítání valivých odporů kol robotu	$M_{kpozov}$	2.28317	[ N×m ]
Porovnání krouticích momentů, které je možné přenést na přední kola robotu, aniž by došlo k prokluzu kol a momentů vycházejících z hmotnosti robotu, dynamických účinků a odporů valení kol robotu z důvodu kontaktů pneumatik s plochou nájezdové rampy (je-li hodnota nižší, než 1, není robot s pohonem pouze předních kol schopný jízdy po nájezdové rampě s daným úhlem sklonu a zrychlením $a_R$ bez ohledu na dostatečný výkon pohonných jednotek)	$k_p$	0.19742	[ - ]
Porovnání krouticích momentů, které je možné přenést na zadní kola robotu, aniž by došlo k prokluzu kol a momentů vycházejících z hmotnosti robotu, dynamických účinků a odporů valení kol robotu z důvodu kontaktů pneumatik s plochou nájezdové rampy (je-li hodnota nižší, než 1, není robot s pohonem pouze zadních kol schopný jízdy po nájezdové rampě s daným úhlem sklonu a zrychlením $a_R$ bez ohledu na dostatečný výkon pohonných jednotek)	$k_z$	0.82198	[ - ]
Porovnání krouticích momentů, které je možné přenést na přední a zadní kola robotu, aniž by došlo k prokluzu kol a momentů vycházejících z hmotnosti robotu, dynamických účinků a odporů valení kol robotu z důvodu kontaktů pneumatik s nájezdovou rampou (je-li hodnota nižší, než 1, není robot s pohonem předních i zadních kol schopný jízdy po nájezdové rampě s daným úhlem sklonu a zrychlením $a_R$ bez ohledu na dostatečný výkon pohonných jednotek)	$k_{pz}$	1.0194	[ - ]
Minimální potřebný krouticí moment, který je nutné přenést z pohonné jednotky na kolo robotu v případě čtyřkolového podvozku s pohonem pouze předních nebo pouze zadních kol	$M_{kmin}$	1.14158	[ N×m ]
Určení minimálních potřebných krouticích momentů, které je nutné přenést z pohonných jednotek na kola robotu s pohonem předních i zadních kol, je možné provést na základě rozboru velikostí krouticích momentů $M_{kpmax}$ , $M_{kzmax}$ , $M_{kpozov}$ .			

Tab. 6.1. Vypočtené hodnoty při jízdě po nakloněné rovině [11]

Další výpočet je zaměřen na návrh pohonných jednotek při přejezdu přes překážku typu kvádr. Hodnoty kvádru, jež má být podvozek schopen překonat dosahují 150 mm na výšku a 250 mm na šířku. Na následujícím obrázku 6.3. je vidno rozložení tíhy podvozku, krouticí moment předního kola ( $M_{Kp}$ ), krouticí moment zadního kola ( $M_{Kz}$ ), normálové a třecí síly v jednotlivých bodech a. Tento výpočet je nastaven na jednu vstupní podmínku, jež nebyla dodržena a z toho důvodu je brán výpočet pouze jako informativní. Touto podmínkou je rozuměno dodržení výšky překážky na poloviční hodnotě, jako je poloměr pneumatiky. Podvozek je zkonstruován s pneumatikou o průměru 145 mm a tím nabývá hodnoty o něco menší, než samotná výška překážky, které činí 150 mm. Výpočet byl tedy upraven dle možností programu. Zobrazená tabulka obsahuje pouze vybrané výsledky, zbytek tabulky je obsažen v přílohách.



Obr. 6.3. Určení potřebných výkonů pohonných jednotek – kvádrová překážka[12]

Výsledný tabulka výpočtového programu je tvořena následujícími hodnotami:

Určení maximální výšky překážky typu kvádr a potřebného krouticího momentu, jež musí být přenesen na přední kolo robotu pro překonání dané překážky			
Určení maximální výšky překážky při pohonu pouze předních kol robotu (vychází z hodnoty koeficientu tření mezi předním kolem a překážkou, je započítán koeficient bezpečnosti proti prokluzu o velikosti 0,9)	$H$	14.291178	[ mm ]
Porovnání maximální výšky překážky $H$ a průměru kola robotu $D_{KV}$ (výška překážky nemůže být vyšší než je poloměr předního kola robotu $DKV$ , je-li vypočítaná hodnota vyšší než 1, je tato podmínka splněna)	$k_H$	5.0730596	[ - ]
Vzdálenost míst kontaktů předního kola robotu s překážkou a podkladem	$x_s$	43.22017	[ mm ]
Tíhová síla	$G_R$	58.8399	[ N ]
Určení reakční síly vznikající v místě kontaktu zadního kola s podkladem	$N_2$	16.144403	[ N ]
Určení reakční síly vznikající v místě kontaktu předního kola s překážkou	$N_3$	13.275547	[ N ]
Krouticí moment, který je potřeba přenést na přední kola robotu pro překonání překážky o výšce $H$	$M_{Kp}$	0.5737714	[ N×m ]
Čtyřkolový robot s pohonem pouze zadních kol			
Určení potřebného krouticího momentu, jež musí být přenesen na zadní kolo robotu pro překonání dané překážky. Kontrola dostatečné trakce zadní kola robotu.			
Výška překážky (volená hodnota)	$H$	65	[ mm ]
Porovnání maximální výšky překážky $H$ a průměru kola robotu $DKV$ (výška překážky nemůže být vyšší než je poloměr předního kola robotu $DKV$ , je-li vypočítaná hodnota vyšší než 1, je tato podmínka splněna)	$k_H$	1.1153846	[ - ]
Vzdálenost míst kontaktů předního kola robotu s překážkou a podkladem	$x_s$	72.111026	[ mm ]
Určení síly vznikající v místě kontaktu předního kola s překážkou	$T_3$	51.567575	[ N ]
Určení reakční síly vznikající v místě kontaktu zadního kola s podkladem	$N_2$	24.056598	[ N ]
Krouticí moment, který je potřeba přenést z pohonné jednotky na zadní kolo robotu	$M_{Kz}$	3.7386492	[ N×m ]
Kontrola dostatečné trakce mezi zadním kolem robotu a podkladem (je-li hodnoty nižší než 1, není trakce na dostatečné úrovni, je započítán koeficient bezpečnosti proti prokluzu o velikosti 0,9)	$k_{r2}$	0.3463809	[ - ]



Tab. 6.2. Vypočtené hodnoty při jízdě přes překážku typu kvádr [12]

Výsledné hodnoty potřebných krouticích momentů pohonných jednotek jsou v tabulkách zvýrazněny červenou barvou. Tyto hodnoty jsou pouze informativního charakteru a to hlavně z jednoho důvodu. Výpočtové programy jsou stavěny pro čtyřkolový podvozek pouze s pohonem jen předních kol, nebo zadních kol. To je v rozporu se zkonstruovaným podvozkem, jenž je poháněnými čtyřmi elektromotory. Z toho vyplývá závěr, že pokud hodnoty elektromotorů budou v blízkosti vypočtených hodnot, elektromotory budou vyhovovat, dokonce může být konstatováno jejich předimenzování.

### 6.3. Určení a kontrola typu pohonu dle požadované pojízdné rychlosti

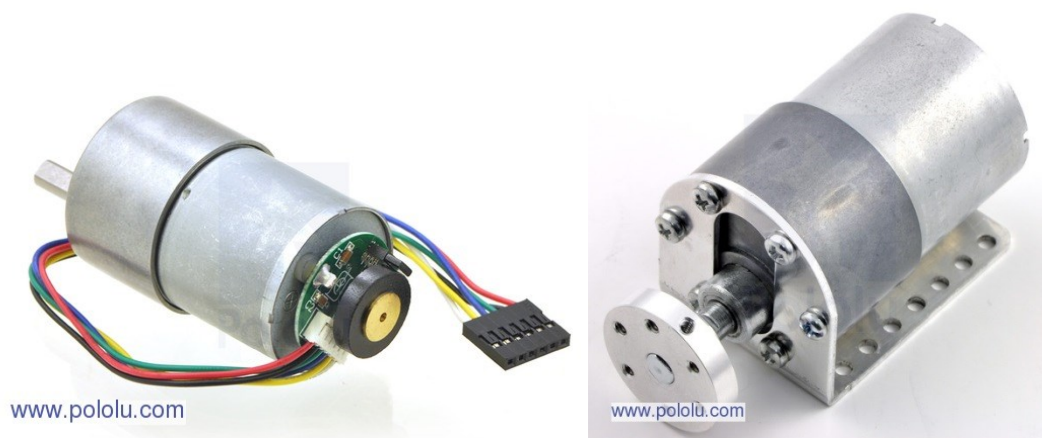
Výběr optimální pohonné jednotky a výpočet pojízdné rychlosti daného typu pohonu:

Z tabulky výrobce elektromotorů s encodéry POLOLU, které v sobě mají zabudovanou převodovku, je vybrán nejvhodnější elektromotor dle vypočtených potřebných krouticích momentů. Robot bude řízen pomocí počítače a mikrokontroléru, k čemuž jsou vhodné motory obsahující encodér, který poskytuje převedenou informaci o absolutní poloze pohybové součásti do kombinace elektrických binárních signálů. V tabulce jsou dále hodnoty převodový poměrů a otáčky jednotlivých typů motorů, které budou následně využívány pro výpočet rychlosti pohybu servisního robota.

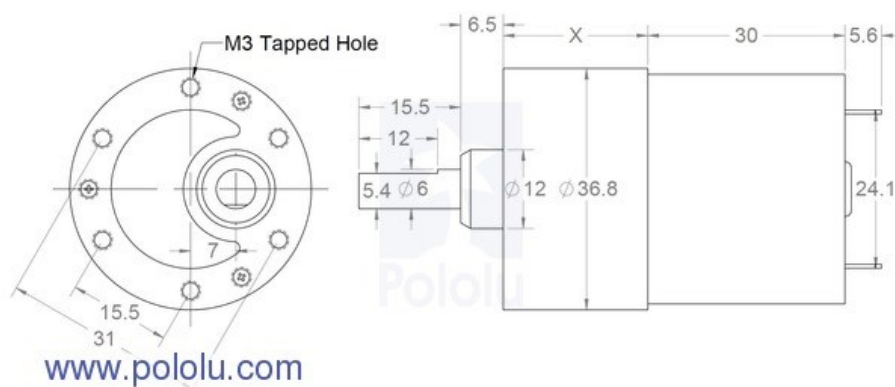
Převodový poměr	Rychlost otáček @ 12V	Krouticí moment na prázdko @ 12V	Odběr na prázdko @ 12V	 www.pololu.com s encodérem	 www.pololu.cz bez encodéru
19:1	500 RPM	0,59 N.m	5 A	37Dx52L mm	37Dx52L mm
29:1	350 RPM	0,78 N.m	5 A	37Dx52L mm	37Dx52L mm
50:1	200 RPM	1,3 N.m	5 A	37Dx54L mm	37Dx54L mm
67:1	150 RPM	1,4 N.m	5 A	37Dx54L mm	37Dx54L mm
100:1	100 RPM	1,5 N.m	5 A	37Dx57L mm	37Dx57L mm
<b>131:1</b>	<b>80 RPM</b>	<b>1,8 N.m</b>	<b>5 A</b>	<b>37Dx57L mm</b>	<b>37Dx57L mm</b>

Tab. 6.3. Seznam elektromotorů [13]

Nejvhodnější motor je zvýrazněn tučně a jeho název je Pololu 1447 - 131:1 Metal Gearmotor 37Dx54L mm s 64 CPR Encodérem. Jeho rozměry, jak z názvu vyplývá, nabývají hodnot 37 mm v průměru a 54 mm na délku. Tyto hodnoty jsou včetně encodéru. Další významné vlastnosti jsou k odečtení z tabulky 6.3. Vyobrazení motoru i s přípojkami konektory a konzolou pro upevnění je k náhledu na obr. 6.4. [13].



Obr. 6.4. Metal Gearmotor 37Dx57L s přípojkou a s použitím konzole [13]



Obr. 6.5. Metal Gearmotor 37Dx57L s kótami důležitých rozměrů [13]

Dle zvoleného elektromotoru a jeho parametrů bylo potřeba zkontrolovat, zda odpovídá pojezdová rychlost podvozku zadaným hodnotám v požadavkovém listu (vzorec č. 1 a vzorec č. 2). Pro tento výpočet je nutná vstupní hodnota průměru pneumatik, kterými bude robot osazen. Typ a další informace o pneumatikách bude obsažen v kapitole 6.5. Použité komponenty z RC modelů. Pro následující výpočet je směrodatný jejich průměr a ten dosahuje hodnoty 145 mm.

Výpočet pojezdové rychlosti:

$$v = \pi \cdot D \cdot n = \pi \cdot 140 \cdot 10^{-6} \cdot 80 \cdot 60 = 2,11 \text{ km.hod}^{-1} \quad (1)$$

$$v_z = 2 \div 3 \text{ km.hod}^{-1} \Rightarrow v_z = 2 < v = 2,11 < 3 \quad (2)$$

Výsledná hodnota leží v intervalu požadované pojezdové rychlosti, tudíž lze konstatovat vhodnost použité pohonné jednotky.

#### 6.4. Návrh zdroje energie

Každé kolo je poháněno samostatným elektromotorem Pololu 1585 - 47:1 Metal Gearmotor, který je specifický po stránce elektrického odběru hodnotou 5 A. Motor je dimenzován pro napájení o hodnotě 12 V, ale je možné využít zdroj elektrického proudu o nižším napětí, nejméně však 6 V. Další důležitou položkou je doba výdrže baterie a tak schopnost podvozku vykonávat svůj účel. Z požadavkového listu je čitelné, že tato doba má být 2-3 hod. Návrh zdroje pro tuto dobu provozu bude zvolen dle použitých baterií u podobných robotů a následného navýšení kapacity o určitý přídavek. Přesná kapacita baterií bude však stanovena až experimentálním provozem prvotního vyrobeného modelu



robota v laboratorních místnostech. Dle těchto kritérií je zvolena baterie firmy HPI. Jedná se Li-Pol baterii, která disponuje velkou kapacitou v poměru ke svým obvodovým rozměrům. Její kapacita nabývá hodnoty 8000 mAh, při napětí 7,4 V a maximálním vybíjecím proudem 100 A. Vybíjecí proud vyhovuje odběrům, kterých dosahují výše specifikované elektromotory i za předpokladu, že budou použity na celý podvozek dvě baterie - pro každou nápravu jedna. V tomto případě by odebírali elektromotory 2\*5 A, což je 10 A na 1 baterii, která je schopna dodávat stále desetkrát víc – 100 A. Hmotnost jedné baterie je přibližně 410 g, při rozměrech 196 x 51,6 x 30 mm. [14]



*Obr. 6.6. HPI – PLAZMA 7,4V 8000mAh 35C LiPo HARDCASE [14]*

Tyto baterie budou využívány pouze pro pohon elektromotorů. Dále je třeba zajistit elektrický zdroj pro řídicí systém a případné doplňky (senzory, kamera apod.). Pro tyto účely je využita další samostatná baterie o výrazně menších rozměrech, kapacitách a hlavně o podstatně nižší pořizovací ceně. Intuitivně byla vybrána baterie značky RAY s napětím stejným předchozího zdroje – 7,4 V a kapacitě 2200 mAh, což by mělo být postačující pro dané úkony. Vybíjecí proud dosahuje hodnoty 26C – 43A. Její hmotnost je 113 g a rozměry – 104 x 35 x 15 mm.[15].





Obr. 6.7. G3 – RAY Li-Pol 2200mAh / 7,4V 26/50C Air pack [15]

Seznam použitých baterií a jejich základních parametrů:

Název baterie	Napětí (V)	Kapacita (mAh)	Vybíjecí proud (A)	Druh baterie	Hmotnost (g)	Cena (Kč)
HPI - Plazma	7,4	8000	100	Li-Pol	410	2 990
G3 - Ray	7,4	2200	43	Li-Pol	113	419

Tab. 6.4. Seznam použitých baterií [16]

Pro možnost využití opětovného zdroje energie je nutné tyto akumulátory nabíjet, po dosažení minimální hodnoty kapacity, k čemuž jsou také určeny. Dle jejich hodnot viditelných v tabulce 6.4. a případně hodnot na stránkách výrobce byla vybrána nabíjecí stanice Raytronic C16, vyráběná firmou RAY. Tenko mikroprocesorový rychlonabíječ s balancérem je určen výhradně pro 1-14 čl. NiCd/NiMH, 1-6 čl. Li-poly/Li-ion/Li-Fe, 2-12V Pb proudem 0,1-5A. Vybíjecí proud dokáže poskytnout o maximální hodnotě 1 A. Napájení je prováděno ze sítě, což je 230 V - 50 Hz anebo může být použit přímo na olověný akumulátor o hodnotě 12 V (autobaterie nebo trakční olověný akumulátor). Nová funkce měření vnitřního odporu vám poskytne velmi cenné a užitečné informace o stavu vašich akumulátorů. Díky upgradovatelnému softwaru se již nemusíte obávat, že nabíječ rychle zastará. Jeho cena se nyní pohybuje na trhu okolo 2 790 Kč. [17].



*Obr. 6.8. G3 – RAYTRONIC C 16 [17]*

## 6.5. Použité komponenty z RC modelů

### Pneumatiky a disky

Pneumatiky a disky jsou převzaty od RC modelů z důvodu úspory počátečních nákladů. Disky byly zvoleny, umožňující výměnu pneumatik bez nutnosti aplikace lepidla. Pneumatika je zde přichycena límcem a přitažena šrouby, rozmístěných po obvodu disku. Pneumatiky jsou použity s vyšším profilem a jemnějším vzorem pro aplikace v laboratorních podmínkách. Disky jsou od výrobce HPI a k dostání jsou na trhu za cca 540 Kč za pár a pneumatiky od výrobce Team Losi, stejného dodavatele a činí 436 Kč za pár. [19][20]



*Obr. 6.9. G3 – Rock 8 chromované disky (55x36 mm) [19]*



*Obr. 6.10. G3 – Boss Claws 2.2 Tires w/Foam (140x59 mm) [20]*

Upevnění pneumatiky na disk je realizováno pomocí límců na samotném disku, který se následně po nasazení pneumatiky a vycentrování přišroubuje a vytvoří tak mezi sebou pevné spojení. Pro pevnější uchycení se může použít i lepidlo nanesené mezi stykové plochy disku a pneumatiky. Pneumatika ovšem není vzduchoprázdňá. Její prostor je vyplněn pěnovými směsí, které se dají koupit v různých směsích a tak regulovat jejich tvrdost.

### Tlumiče

Odpružení u podvozku je modifikovatelné a případně použité tlumiče jsou od firmy HPI o délce 97 mm. Tyto tlumiče s názvem Big Bore nemají možnost uzamčení proti odpružení, tudíž modifikace spočívá v náhradě celého tlumiče za tyč z hliníkové slitiny o stejné délce, jako je tlumič a tím dojde k fixaci a zamezení odpružení. Cena těchto tlumičů se pohybuje na českém trhu okolo 1 249 Kč za pár. [21].



*Obr. 6.11. G3 – Tlumiče Big Bore (97mm/2ks) [21]*

#### Unášeč kola a ložiska

Použitý unášeč kola a ložiska pochází ze sortimentu náhradních dílů pro RC modely. Unášeč kola je vybrán od firmy HIMOTO a jeho cena je 38 [Kč] za 4 kusy. Proti pootočení vůči hřídeli je zajištěn kolíkem, pro který je v matici vytvořena drážka. Dále je proti axiálnímu posunutí matice použito stavěcího šroubu M3x5, který tak usnadní manipulaci při sestavování podvozku. Ložiska jsou použita dvojí velikosti, ovšem jedná se stále o kuličková ložiska jednořadá. Obě slouží k vedení hřídele, převádějící krouticí moment z motoru na kola. Jedno ložisko disponuje rozměry 12 x 18 x 4 mm i s prachovkou a jeho cena je 169 Kč za 1 ks. Druhé má obvodové rozměry 5 x 11 x 4 mm, také s prachovkou a stojí okolo 119 Kč za pár. [22][23][24]



*Obr. 6.12. Unášeč kola [22]*



*Obr. 6.13. Kuličkové ložisko 12x8x4 mm, s prachovkou [23]*



*Obr. 6.14. Kuličkové ložisko 5x11x4mm [24]*

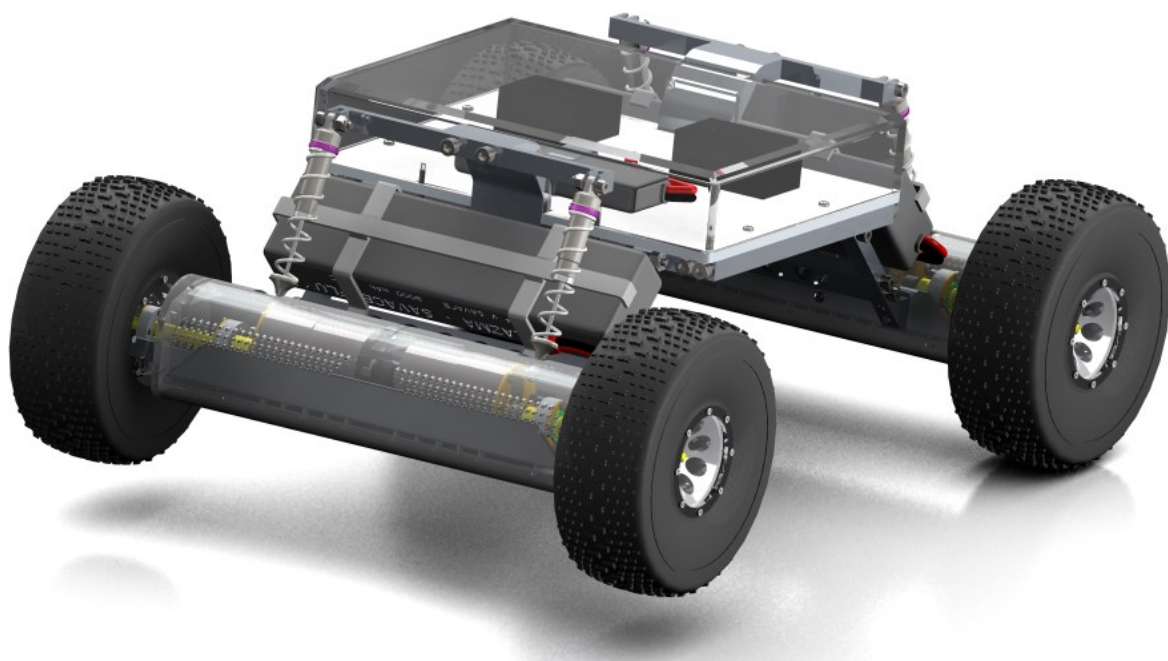
## **6.6. Uložení baterií, krytování podvozku a konstrukční úpravy**

Pro pohon čtyřkolového podvozku je potřeba čtyř motorů a pro každou dvojici z nich je použita samostatná baterie (jedna baterie na jednu nápravu). Na následující 3D vizualizaci (obr. 6.15) je vidno upravení jejich rozmístění na podvozku, z důvodu posunutí těžiště níže, aby se předešlo možnému překlopení robota při přejezdu přes kvádrovitou překážku. Původní umístění na základně baterií nezůstane prázdné a využije se k rozmístění elektroniky a jejího zdroje elektroniky.

Celá základna je následně zakrytována jednoduchým hranatým krytem, který je vyrobený z plastu o tloušťce 6 mm. Ten je připevněn k základně pomocí čtyř samořezných šroubů. Na vyobrazeném modelu (obr. 6.15) je kryt namodelován jako transparentní.

Další krytování pro případ využití robota mimo laboratoř, pro kterou je určen především, má za úkol chránit samotné pohonné jednotky, jimiž jsou elektromotory. Vše je vidno na následujícím vymodelovaném podvozku – obr. 6.15. Je možno si také povšimnout konstrukční změny v ramenech náprav. Vzpěra, která spojovala dvě poloviny ramen, byla nahrazena dvěma vzpěrami. Menší změnu přineslo i samotné uchycení ramen k nápravě. Konstrukční úprava se týkala také zkrácení hřídele, pohánějící kola. Ta byla původně bezúčelně příliš dlouhá.

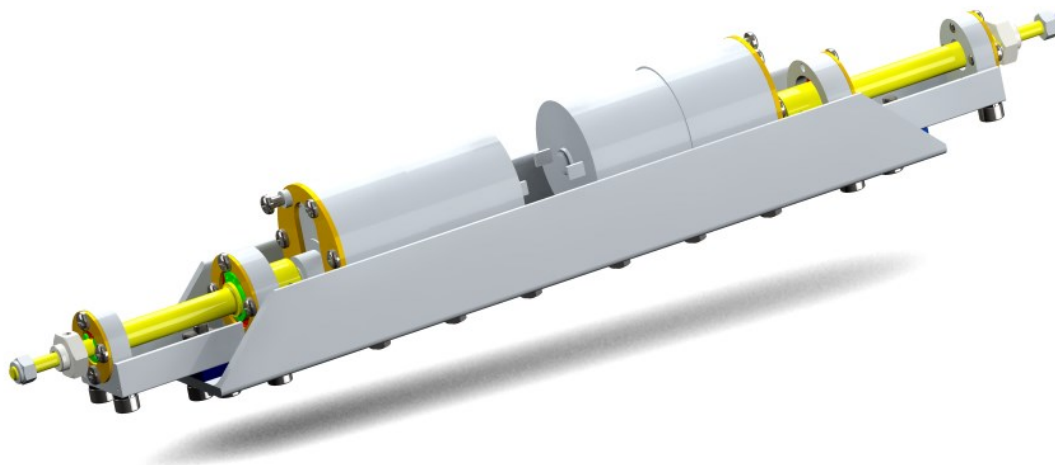




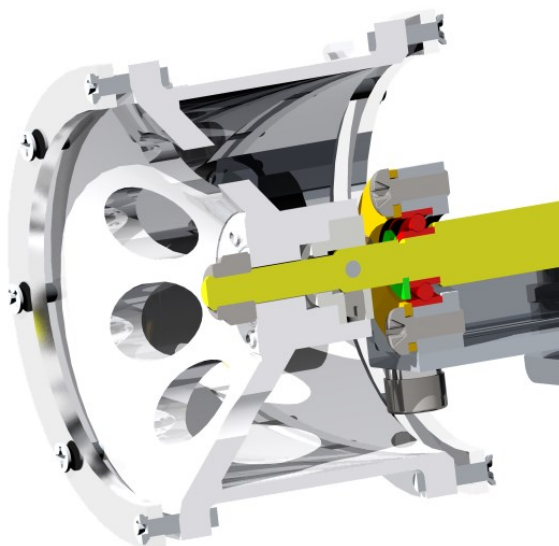
*Obr. 6.15. Podvozek s rozmístěnými bateriemi a krytováním – pohled ze předu*



*Obr. 6.16. Podvozek s rozmístěnými bateriemi a krytováním – pohled ze spodu*



*Obr. 6.17. Náprava složená z hliníkových profilů*



*Obr. 6.18. Detail uchycení disku kola na hřídeli a ložiskového domku*

## **7. Závěr práce**

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem čtyřkolového podvozku, který má sloužit pro testování algoritmů řízení. Hlavním kritériem konstrukce je co nejnižší pořizovací cena jednoty. Z tohoto důvodu je konstrukce řešena co nejjednodušeji a využívá sériově vyráběných profilů z hliníkové slitiny. I když může připadat model poměrně stroze, danému účelu, pro který je zkonstruován vyhovuje a při menší modifikaci i účelům dalšího využití. Při modelování bylo uvažováno i technologických postupů, které budou využívány

pro výrobu jednotlivých komponent a hledat tak opět optimální výrobní postupy s co nejnižšími náklady.

Podvozek má být také schopen překonávat překážky typu kvádrů a nakloněné roviny (nutnost velké světlé výšky podvozku), k čemuž bylo přihlíženo zejména při návrhu pohonných jednotek. Ty jsou převzaty od firmy Pololu Robotics & Electronics a jejich název je Metal Gearmotor 37D x 57L, obsahují encodér a zabudovanou převodovku. Následně bylo třeba jejich rozmístění na nápravy a propojení s pneumatikami pomocí hřídele, jež je vedena kuličkovými ložisky uložených v ložiskových domcích. Také bylo třeba navrhnout konstrukci rámu, aby bylo umožněno modifikace podvozku vůči odpružení. Řídící elektronika je směřována na podestu rámu, která je opatřena jednoduchým krytem, vyrobeným z transparentního plastu. Celkové řízení podvozku bude prováděno pomocí počítače a mikrokontroléru.

Při hledání součástí a vytváření konstrukcí podvozků bylo zjišťováno, jak rozmanitá oblast čtyřkolových podvozků je a z kolika pohledů se na ní dá zaměřit. Čtyřkolové podvozky jsou jedny z nejrozšířenějších typů podvozků vůbec, což je zejména díky své jednoduché konstrukci a tím také nízkým nákladům na výrobu.

## 8. Seznam použitých zdrojů

[1] *Robotshop* [online]. [cit. 2012-12-17]. Dostupné na:

<<http://www.robotshop.com/dr-robot-jaguar-4x4-mobile-platform>>

[2] *Super Droid Robots* [online]. [cit. 2012-12-17]. Dostupné na:

<<http://www.superdroidrobots.com/UM4.aspx>>

[3] *Robotshop* [online]. [cit. 2012-12-17]. Dostupné na:

<<http://www.robotshop.com/superdroid-um4-spektrum-remote-3.html>>

[4] *Toko Robot* [online]. [cit. 2012-12-17]. Dostupné na:

<[http://toko-robot-online.com/product\\_info.php?products\\_id=1373&osCsid=d3169fa8c7878b1160c37d175a35d34e](http://toko-robot-online.com/product_info.php?products_id=1373&osCsid=d3169fa8c7878b1160c37d175a35d34e)>

[5] *Coroflot* [online]. [cit. 2012-12-17]. Dostupné na:

<<http://www.coroflot.com/twilight/Mega-Hurtz>>



- [6] *Robotshop* [online]. [cit. 2012-12-17]. Dostupné na:  
<<http://www.robotshop.com/inspectorbots-mega-bot-wireless-4wd-robot-platform-kit-4.html>>
- [7] *Coroflot* [online]. [cit. 2012-12-17]. Dostupné na:  
<<http://www.coroflot.com/twilight/MINIBOT>>
- [8] *Robotshop* [online]. [cit. 2012-12-17]. Dostupné na:  
<<http://www.robotshop.com/inspectorbots-toughbot-surveillance-inspection-robot.html>>
- [9] *Robotshop* [online]. [cit. 2012-12-17]. Dostupné na:  
<<http://www.robotshop.com/superdroid-4ws-crawler-4x4-surveillance-inspection-robot.html>>
- [10] *Robotshop* [online]. [cit. 2012-12-17]. Dostupné na:  
<<http://www.robotshop.com/robotics-4x4-mobile-platform-dlink-camera.html>>
- [11] Katedra robototechniky: VŠB-TU Ostrava, Fakulta strojní. ING. MILAN MIHOLA, Ph.D. [online]. 2011 [cit. 2013-04-08]. Dostupné na:<<http://robot.vsb.cz/aplikovane-vystupy/software/urceni-potrebnych-vykonu-pj-1/#info>>
- [12] Katedra robototechniky: VŠB-TU Ostrava, Fakulta strojní. ING. MILAN MIHOLA, Ph.D. [online]. 2011 [cit. 2013-04-08]. Dostupné na:<<http://robot.vsb.cz/aplikovane-vystupy/software/urceni-potrebnych-vykonu-pj-2/#info>>
- [13] *Kamami* [online]. [cit. 2012-12-17]. Dostupné na:  
<<http://www.kamami.pl/index.php?ukey=product&productID=195956>>
- [14] Pelikan Daniel. [online]. [cit. 2013-04-11]. Dostupné na:  
<<http://www.pelikandaniel.com/?sec=product&id=63902>>
- [15] Pelikan Daniel. [online]. [cit. 2013-04-11]. Dostupné na:  
<<http://www.pelikandaniel.com/?sec=product&id=55475>>
- [16] Pelikan Daniel. [online]. [cit. 2013-04-11]. Dostupné na:  
<<http://www.pelikandaniel.com>>
- [17] Pelikan Daniel. [online]. [cit. 2013-04-11]. Dostupné na:  
<<http://www.pelikandaniel.com/?sec=product&id=38440>>

- [18] Alupa s.r.o. [online]. [cit. 2013-04-11]. Dostupné na: <<http://www.alupa.cz>>
- [19] Savage s.r.o. [online]. [cit. 2013-04-11]. Dostupné na:  
<<http://www.savage.cz/cz/zbozi/rc-modely-auta/pneu-disky-1-10/crawler/22242-rock-8-chromovane-disky-55x36mm-2ks.html>>
- [20] Savage s.r.o. [online]. [cit. 2013-04-11]. Dostupné na:  
<<http://www.savage.cz/cz/zbozi/rc-modely-auta/pneu-disky-1-10/crawler/46208-fr-r-boss-claws-2-2-tires-w-foam-red-2.html>>
- [21] Pelikan Daniel. [online]. [cit. 2013-04-11]. Dostupné na:  
<<http://www.pelikandaniel.com/?sec=product&id=56672>>
- [22] Savage s.r.o. [online]. [cit. 2013-04-11]. Dostupné na:  
<<http://www.savage.cz/cz/zbozi/rc-modely-auta/nahradni-dily/nd/21976-unasec-kola-4ks.html>>
- [23] Modelářské potřeby. RUDOLF KRÁSENSKÝ. [online]. 2013 [cit. 2013-04-08].  
Dostupné na: <<http://www.avantircm.cz/e-shop/prislusenstvi-auta/loziska/kulickova-loziska-12x18x4mm-s-prachovkou-id:4140.eshop>>
- [24] Modelářské potřeby. RUDOLF KRÁSENSKÝ. [online]. 2013 [cit. 2013-04-08].  
Dostupné na: <<http://www.avantircm.cz/e-shop/prislusenstvi-auta/loziska/kulickove-lozisko-5x11x4mm-2-ks-id:30655.eshop>>

## 9. Přílohy

Příloha A - Výpočtový program pro určení potřebných výkonů – nakloněná rovina.

Příloha B - Výpočtový program pro určení potřebných výkonů – kvádr.

Příloha C - Sestavný výkres podvozku + kusovník.

Příloha D - Výkres podsestavy podvozku + kusovník.

Příloha E - Výrobní výkres ložiskového domku.

Příloha F - CD – ROM

- bakalářská práce v elektronické podobě
- modely variant v programu Creo Parametric
- přílohy